

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO



DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA TPM

(Mantenimiento Productivo Total)

PARA LA OPTIMIZACIÓN DE CONSUMO
ENERGÉTICO EN LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE
UNA FÁBRICA DE CERVEZA.

AUTOR: IVÁN MORALES JULIÁN.

TUTOR: JOSE LUIS PINELA OCAÑA.

TUTOR: DAVID GALLEGU MONTERO.

MADRID, SEPTIEMBRE 2015.

RESUMEN

El presente proyecto fin de grado se centrará en la optimización de consumos energéticos en una línea de producción de cervezas en la fábrica de la empresa multinacional Heineken, apoyándonos en la metodología de trabajo TPM (Mantenimiento Productivo Total) utilizada por la compañía como filosofía de trabajo. El proyecto se llevará a cabo en la fábrica de cervezas emplazada en la Comunidad de Madrid.

La reducción de consumos energéticos en países del sur de Europa es uno de los objetivos prioritarios de la compañía para el año 2015. Este proyecto está dentro del plan de actuación para conseguir alcanzar esos objetivos.

Dicho proyecto aborda principalmente la reducción de consumos de agua y energía térmica. Para ello, partiremos de la situación inicial de consumos que queremos reducir, por lo que el primer paso debe ser establecer tales condiciones iniciales de funcionamiento de las distintas máquinas que posee la línea de producción y controlar el seguimiento de los indicadores energéticos para establecer el punto en el que nos encontramos en cuanto a consumos y tener así una idea clara de la situación de la línea de producción en cuanto a energía se refiere.

Continuaremos con un desglose de los principales puntos de consumo de la línea de producción para determinar los focos de actuación que nos permitan realizar una mejora energética en la línea. Posteriormente, la presentación, implantación y desarrollo de las mejoras implementadas en la línea, analizando más al detalle máquinas y sistemas de una forma más concreta.

Finalmente, para conocer si todas las mejoras y soluciones propuestas han tenido éxito y nos han llevado al objetivo marcado de reducción de consumo, se realizará un seguimiento de los indicadores energéticos, mostrando para concluir los datos finales de ahorro de energía en la línea y sus correspondientes consecuencias económicas, impacto en el medio ambiente y calidad del producto final.

SUMMARY

The present thesis focuses on the energy consumption optimization in beer production line at the factory of the multinational Heineken relying on the work methodology TPM (Total Productive Maintenance) used by the company as their work philosophy. The project will be carried out at the Heineken's brewery located in Madrid.

Reducing energy consumption in southern European countries is one of the priorities of the company for 2015. This project is inside of the action plan for achieving this goals.

This project deals with the reduction of water and thermal energy consumption. To do so, we need to look for the initial situation of the consumption levels are established watching different indicators from the different machines placed on the production line. This way, we can have a clear idea on how the line situation can be optimized.

We continue spreading the costs of the consumption from the production line to set the actuation area that allow us to do an energy improvement in the line. Later, the presentation, implementation and development of the improvements on the line are attached, analyzing specifically the machines and systems.

Finally, to verify that all the purposed solutions have been successful improving the energy and water consumption efficiency, we monitor the line with the different energy indicators.

To conclude, the final results from the energy saving in the line with the environmental consequences are explained.

Índice.

1.INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO.....	9
1.1 Introducción.....	9
1.2 Objetivo del proyecto	11
2.CONTEXTO HISTORICO DE HEINEKEN.....	13
3.METODOLOGÍA TPM.....	17
3.1 Historia del TPM	17
3.2 La necesidad de TPM	19
3.3 El objetivo.....	20
3.4 Puntos clave.....	21
3.5 Los 8 pilares.....	24
3.6 Herramientas para el análisis de problemas.	29
3.7 Aplicación a la reducción de consumos..	36
4. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA	40
5. CUESTIONES TEÓRICAS	44
5.1 Demostración de la variación de la capacidad calorífica.	44
5.1 Aclaración sobre medidas de presión.....	46
6. DESGLOSES DE CONSUMO	47
7. PASTEURIZADOR.....	49
7.1 Descripción del problema y desgloses.....	49
7.2 Principio de funcionamiento y restauración de condiciones iniciales.....	50
7.3 Balance energético del pasteurizador..	60
7.5 Restaurar condiciones iniciales.	64
7.6 Análisis de la causa raíz.....	66
7.6 Implementación de medidas y seguimiento.....	72
7.7 Estandarización.....	73
8. PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE AGUA DE ENVASADO.....	76
9. LAVADORA DE BOTELLAS.....	79
9.1 Descripción del problema y desgloses.....	79
9.2 Principio de funcionamiento y restauración de condiciones iniciales.....	83
9.2.1 Explicación teórica diseño intercambiadores.	91
9.2.2 Balance energético.....	104

9.3 Análisis de la causa raíz.....	112
9.4 Implementación de medidas y seguimiento.....	115
9.5 Estandarización.....	116
10. LAVADORA DE CAJAS.....	121
10.1 Desgloses y descripción del problema.....	121
10.2 Principio de funcionamiento y restauración de condiciones iniciales.....	122
10.2.1 Principio de Funcionamiento.....	122
10.2.2 Esquema de Flujo.....	125
10.2.3 Restauración de condiciones iniciales.....	126
10.3 Análisis e implementación de mejoras.....	127
10.3.1 Puesta en marcha	132
10.4 Seguimiento de indicadores.....	133
11. BOMBAS DE VACÍO.....	135
11.1 Principio de funcionamiento.....	136
11.2 Análisis de las posibles causas de sobreconsumo.....	140
11.3 Estudio para la implantación de un termorrefrigerador.....	144
11.4 Estudio de capacidad de refrigeración.....	147
12. IMPACTO ECONÓMICO.....	150
12.1 Impacto economico sobre pasteurizador.....	150
12.2 Impacto económico sobre proyecto de recuperación de agua de envasado..	153
12.3 Impacto económico sobre lavadora de botellas.....	154
12.4 Impacto económico sobre lavadora de cajas.....	155
12.5 Impacto económico sobre bomba de vacío.....	156
12.6 Datos finales de ahorro económico.....	156
13. CONCLUSIONES.....	158
14. BIBLIOGRAFÍA.....	160
15. ÍNDICE DE IMÁGENES.....	161
16. ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	163
17. ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	165
18. ÍNDICE DE TABLAS.....	166
19. PLANOS.....	167

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO.

1.1 Introducción.

Como estudiante del Grado en Ingeniería Mecánica por la Universidad Carlos III de Madrid, finalizaré mi formación académica realizando el presente proyecto junto con la compañía cervecera en la que realicé mis prácticas académicas: la empresa Heineken.

Durante el periodo de 6 meses que permanecí en la empresa, concretamente en el departamento de envasado de la fábrica que la compañía tiene en Madrid, pude ver y participar en el proyecto de reducción de consumos energéticos que demandan las líneas estratégicas de la compañía a nivel mundial, manteniendo una tradición histórica de compromiso con la sostenibilidad y el medio ambiente.

La creciente necesidad global de sostenibilidad junto con la implicación de la compañía en estas cuestiones me ha servido de pretexto para realizar el presente proyecto de optimización de consumos energéticos en una de las líneas de producción de la planta de envasado de la fábrica. Para ello me he apoyado en la filosofía de trabajo de la empresa denominada con las siglas TPM (Total Productive Maintenance).

Esta metodología busca, como objetivo continuo y sostenible, la eliminación de las pérdidas en todos los procesos a través de la participación activa de todos los miembros de la organización. TPM engloba un conjunto de herramientas para eliminar todo tipo de pérdidas, no solo pérdidas productivas si no también el tipo de pérdidas energéticas y de rendimiento que abordamos en este proyecto.

La planta de producción que la compañía tiene en la Comunidad de Madrid consta de varios departamentos que trabajan de manera conjunta para conseguir sacar al mercado los productos con la mayor calidad posible.

Cada departamento tiene unos consumos específicos ya sean de materias primas, energéticos o económicos que deben optimizar para que la empresa mantenga su posición global en el tiempo.

En este proyecto nos centraremos en el departamento de envasado en el que he realizado las prácticas curriculares. El departamento de envasado está dividido en dos secciones o Clúster, que separan los canales de venta de la compañía.

Por un lado, el canal de Alimentación, denominado Clúster 1 dentro de la fábrica, que posee 2 líneas de producción, una línea de botellas y una línea de latas. Estas líneas abastecen los establecimientos comerciales y elaboran los productos que llevamos a nuestras casas.

Por otro lado, el canal de restauración HORECA (hoteles, restaurantes y cafeterías) denominado dentro de la fábrica como Clúster 2. La peculiaridad de esta sección es que todos los envases que se procesan en ella son retornables, es decir, una vez salen al mercado y son consumidos retornan a la fábrica para volver a iniciar el ciclo de envasado. Este clúster consta de 4 líneas de producción, dos líneas de botellas retornables, una línea de barriles y una línea para llenado de camiones cisterna. [Plano n.1]

Cabe destacar que todos los envases que se procesan en las distintas líneas de producción llegan a la fábrica ya elaborados y en el caso de las líneas de producción del clúster 1 Alimentación, estos envases están listos para ser llenados. En cambio todos los envases que se reciben en el clúster 2 HORECA tienen que pasar unos lavados previos a su envasado. Por lo que el consumo energético de las líneas de este clúster 2 es mucho mayor que en las líneas de alimentación.

Mi labor dentro de la fábrica se ha desarrollado principalmente en estas líneas de productos retornables que conforman el llamado clúster 2. Y es en una de las líneas de botella retornable donde se centrará este proyecto.

De las dos líneas que se han mencionado de botellas retornables. El proyecto se centrará en la reducción de consumos de la denominada *línea 84*.

Esta línea de botellas retornables tiene la peculiaridad de ser una línea doble, es decir, posee ciertas máquinas por duplicado por lo que su capacidad productiva es mayor. Como consecuencia de esto el consumo tanto de agua como de energía térmica también se incrementa y es ahí donde actuaremos usando siempre las directrices que marca el TPM.

1.2 Objetivo del Proyecto

El objetivo del proyecto es conseguir la optimización de los sistemas para la reducción del consumo de agua y con ello rebajar el consumo de energía térmica en la línea de botellas retornables 84.

Esta línea de producción recibe envases de los canales de restauración, por ello, a fin de volver a envasarlos, deben someterse primero a una serie de limpiezas y acondicionamientos que les proporcionen un cierto nivel de higiene y esterilización y les haga aptos para ser de nuevo rellenados con el producto, cerveza en este caso.

Las máquinas que principalmente se usan para el lavado de los envases son la lavadora de botellas y la lavadora de cajas. Estas dos máquinas suponen buena parte del consumo energético de la línea, aunque no son los únicos consumidores.

Los indicadores de consumo que utilizaremos para medir el consumo de agua son:

$$\frac{\text{Hectolitro de agua consumido}}{\text{Hl de cerveza producido en fábrica}} = \frac{\text{Hl}}{\text{Hl fábrica}}$$

$$\frac{\text{Hectolitro de agua consumido}}{\text{Hl de cerveza producido en envasado}} = \frac{\text{Hl}}{\text{Hl envasado}}$$

$$\frac{\text{Hectolitro de agua consumido}}{\text{Hl de cerveza producido en línea}} = \frac{\text{Hl}}{\text{Hl línea}}$$

Esta manera de medir el consumo nos permite cuantificar más objetivamente la cantidad de agua que se gasta en la línea, pues se tiene en cuenta la cantidad de cerveza producida.

Debido a las constantes fluctuaciones de la demanda de cerveza en el mercado, el número de hectolitros de cerveza producidos cada semana es diferente, lo que hace necesario

introducir el dato de “cerveza producida en la línea”. Debido a esto mismo, el consumo de agua tampoco es constante en el tiempo.

La calidad del producto final siempre es la prioridad, por lo que la principal dificultad con la que nos encontramos al tratar de alcanzar estos objetivos radica en no dañarla. Por ello, habrá de ponerse especial cuidado a la hora de introducir las mejoras de reducción de consumo en las zonas críticas en higiene, a fin de mantener la calidad del producto y de no afectar al resultado final.

Como se ha mencionado previamente, para conseguir estos objetivos marcados nos apoyaremos en la filosofía de trabajo TPM. Esta metodología se basa en pilares fundamentales desde donde poder actuar. Para el caso que abordamos, de optimización y mejora de consumos e instalaciones, el pilar en que nos apoyaremos será el denominado Pilar de Mejora Enfocada.

Los pasos que seguiremos para la consecución de las metas son los siguientes:

1. Entender la situación inicial.
2. Restablecer las condiciones básicas.
3. Definir e implementar las mejores condiciones.
4. Seguimiento de resultados e investigación de las desviaciones.
5. Definición de estándares para mantener los resultados.

Estos cinco puntos serán las líneas de actuación por las cuales se desarrollará el proyecto.

2. CONTEXTO HISTÓRICO DE HEINEKEN.

A nivel internacional, Heineken se posiciona entre las compañías líderes del sector de Alimentación y Bebidas en general, y del cervecero en particular.

Cuenta en su haber con más de 85.000 empleados en el mundo y más de 1.600 empleados en España y con más de 250 marcas de cerveza en todo el mundo -*Cruzcampo*, *Amstel* o *Buckler*, por ejemplo, en España- y cubriendo un total de 70 países y de 165 fábricas.

Heineken, además, resulta la cerveza Premium más presente en todo el mundo; *Cruzcampo* lidera el mercado en España, tanto a nivel hostelero como en barril; y a *Amstel* y *Buckler* se le unen otras tales como *Desperados*, *Sol*, *Guinness* o *Paulaner*.

En 1864, en Ámsterdam, Gerard Adriaan Heineken compró la cervecería *De Hooiberg* en Ámsterdam.

En 1869, cinco años más tarde, comenzó a desarrollar un nuevo método de fermentación con el que obtendría grandes resultados y por el que se daría a conocer en la industria de la cerveza y sus consumidores.

En 1889, Heineken ganó la medalla de oro en la Exposición Mundial de París de ese mismo año.

A Gerard Adriaan Heineken le sucedió en la dirección Henry Heineken, con quien comenzó la expansión por Asia.

Heineken superó la gran recesión económica mundial de los años 30 sin que esta afectase mínimamente a su gran ascensión, culminando ésta con su entrada en el mercado norteamericano, convirtiéndose así en la primera cerveza importada en los Estados Unidos.

Más tarde, en los años 50, Alfred Heineken comenzó por una gestión innovadora que le valió la consolidación de su marca en el mercado Europeo, entrando en el siglo XXI como el primer grupo cervecero de Europa.

En 2013, los mercados emergentes constituían la mitad de la facturación del grupo Heineken.

Y a nivel nacional, encontramos, en 1900, la primera fábrica: El Águila, gracias a Augusto Comas y Blanco, en la calle General Lacy de Madrid, comercializándose así en 1903, por primera vez, la cerveza El Águila.

Simultáneamente, los hermanos Osborne Guezala, en Cádiz, fundan la primera fábrica de cerveza La Cruz del Campo en Sevilla, entrando en 1904 al mercado como *Cruzcampo*.

Diez años más tarde aparece el simbólico personaje Gambrinus.

Los años 50 significaron la etapa de expansión y modernización de la industria cervecera.

En la fábrica de Córdoba, El Águila introdujo, entre otras muchas mejoras, los sistemas de frío y embotellado en la maquinaria y las zonas de fermentación y guarda con la primera bodega de aire acondicionado, convirtiéndose con esto en la planta más moderna de España.

Al tiempo, *Cruzcampo* introducía la *pasteurización flash*.

En la expansión de El Águila, esta llega a Madrid, donde se inaugura a finales de los 60 la fábrica de San Sebastián de los Reyes. También llegó a Murcia, Extremadura, Zaragoza, etc.

Mientras, *Cruzcampo* sale de Andalucía, y con la compra de Henninger Española comienza la creación del Grupo *Cruzcampo*, siguiéndole a ésta la compra de Industrial Cervecería Sevillana, El Alázar y Juan y Teodoro Kutz, llegando con esto a suponer el 19% del mercado español.

Entre los 60 y los 80, ambas compañías (El Águila y *Cruzcampo*) innovaron en producción con la primera máquina de agrupación de cajas, el barril de aluminio, la botella de litro, la cerveza *sin*, etc.

El Águila poseía una de las mayores plantas embotelladoras de Europa.

Durante la última década del siglo XX y la primera del XXI tuvo lugar la consolidación de HEINEKEN España.



Imagen 1.

Fuente: Heineken España.

En 1984, HEINEKEN N.V., siendo todavía la cuarta cervecera a nivel mundial, compra El Águila, y en 1991 el Grupo Cruzcampo pasa a formar parte de Guinness PLC. En 1993, el Grupo Cruzcampo S.A. lidera el sector cervecero.

No obstante, en 2000, HEINEKEN N.V. compra Grupo Cruzcampo, naciendo así HEINEKEN España.

Nació con esto la nueva fábrica de Sevilla, la planta más moderna del grupo en Europa hasta la fecha, capaz de producir 4.5 millones de hectolitros anuales.

La fábrica de Madrid, una de las más modernas, la encontramos en San Sebastián de los Reyes, anterior emplazamiento de El Águila.

Cuenta en su producción anual con 2.9 millones de hectolitros, lo que la convierte en la segunda fábrica más grande en España de la compañía.

En su haber se cuentan 6 líneas de producción; 2 de productos no retornables; 3 de productos retornables, incluyendo la línea de barriles, línea principal en cuanto a volumen producido de la fábrica, siendo además la única fábrica de la marca que produce el barril de



20 litros *Radler*; y, por último, una línea de tanques *cellar* para el llenado de camiones cisterna.

Unido a la planta de envasado se encuentra la zona de logística, en la que operan carretillas automáticas gobernadas vía Ethernet y wifi, con salida directa a los camiones de reparto.

Imagen 2.

Fuente: Heineken España.

Entre las marcas que en esta planta se producen están, *Heineken*, *Cruzcampo*, *Amstel*, *Amstel Oro*, *Cruzcampo Radler*, *Amstel Radler*, *Buckler 0'0* y *Shandy*.

En cuanto a la estrategia de esta fábrica, encontramos entre los pilares básicos la seguridad; la calidad de los productos y sus procesos; y el respeto por el medio ambiente, sobre todo en cuanto a la reducción en el consumo de agua debido, principalmente, a que la marca ha establecido el sur de Europa como área potencial de sequías, por lo que el ahorro de agua es el objetivo principal de la compañía.

El área de influencia de la fábrica de Madrid es, en el norte de España, el Cantábrico, Castilla y León, Cáceres, Aragón, Madrid y el norte de Castilla-La Mancha.

Es remarcable que la compañía se rige mediante la filosofía de trabajo TPM a fin de optimizar la eficiencia de la gestión y la autosuficiencia de todas las personas que conforman la compañía.

3. METODOLOGÍA TPM.

Procederemos a explicar los principios y fundamentos de la metodología TPM. En qué consiste, para qué sirve y cómo la podemos aplicar en nuestro caso práctico.

3.1 Historia del TPM.

Tras la Segunda Guerra Mundial, el poder industrial y la riqueza de Japón se vieron enormemente mermados, por lo que se iniciaron reformas enfocadas a la reconstrucción de la economía nacional mediante cambios en la política, la educación, la industria, etc. Con todo, la iniciativa más importante resultó la socio-cultural.

Fue entonces, durante la década de los 70', que se adoptó una nueva filosofía social denominada TPM (Total Member Participation, en aquel momento).

Dicho TPM, en industria, se define como una metodología basada en la socialización y optimización de las prácticas de mantenimiento, cuyo objetivo radica en la minimización, preferentemente eliminación total, de las pérdidas ocasionadas por los paros del equipo, y la calidad y los costes de los procesos implicados en la producción.

Todo esto tuvo su origen en el JIPM (el Japanese Institute of Plant Maintenance) a fin de implantarse en las plantas con mayor grado de automatización. No obstante, a medida que estos equipos fueron ganando en complejidad, los japoneses adoptaron la filosofía norteamericana basada en la división del trabajo.

No obstante, esto suponía, en cierto modo, una vuelta al pasado, pues su objetivo básico era la competitividad, aunque con un sistema de gestión con un mayor grado de sofisticación.

Esto, a su vez, daba lugar a una transmutación de la ideología del *yo opero, tú reparas* por una de *yo soy el responsable de mi equipo*.

El proceso que nos trajo hasta el TPM actual, como cualquier otro proceso, llevó su evolución. En ella se adoptó un sistema por el cual los sistemas productivos se

adaptaban estrictamente a la mínima producción necesaria en cada momento justo y con el mínimo y más eficiente empleo de los recursos que fuesen estrictamente necesarios.

Esto se llevaba a cabo de acuerdo al paradigma de los 3 Ceros: cero averías, cero defectos y cero accidentes tanto en cuanto a personas como a medio ambiente.

En este proceso de evolución, fue también importante el sistema de gestión flexible conocido como JIP (*Just in Time*), que cambió la filosofía de maximizar la producción por otra más pragmática basada en una reorganización de los sistemas productivos al completo y en una reasignación de los recursos con el objeto de adaptar la producción a las necesidades reales.

Esto, actualmente, se denomina *Lean Production*, es decir, producción ajustada.

Otra parte de la evolución fue el TQM, igualmente surgido en los 70', de cuyo método nuestro TPM toma herramientas como la de dotar de mayor responsabilidad a los trabajadores; delegar las funciones, es decir, confiar en los demás; o, la rigurosa documentación de los procesos a fin de llevar a cabo un estudio habitual que ayude a la optimización de estos.

Igualmente, en Estados Unidos se gestaron diversas teorías en cuanto a mantenimiento tanto productivo como preventivo que incluían la ingeniería de máquinas. Muchas de estas, como ya hemos señalado anteriormente, fueron adoptadas por los japoneses, a quienes se atribuye el TPM.

Como complemento, mencionaremos algunos de los casos más exitosos en los que el TPM fue implantado.

A saber, el famoso caso de *Harley-Davidson*, que logró un ROI (retorno de la inversión) de 10:1 sobre los costes de implementación de TPM, lo que demuestra una rentabilidad absoluta; el caso de *SKF/MRF Bearing*, una empresa dedicada a los motores y las bombas industriales que redujo en un 98-99% el tiempo de su mantenimiento correctivo en un único año de TPM; el caso de *3M*, que en tres años redujo el coste de mantenimiento en un 60%; y el caso de *Samsung Ericson*, que, además de reducir costes, gracias al TPM cuida el entorno implantando el PRO 3M a nivel mundial como herramienta positiva para la manufactura.

3.2 La Necesidad de TPM.

Las circunstancias que rodean la industria del siglo XXI, en la cual se exige una mayor eficiencia, una reducción de costes y en la que el consumidor demanda la máxima calidad posible, hacen que las empresas opten por modelos de trabajo eficientes y seguros a largo plazo.

La filosofía TPM es un buen ejemplo de ello. Una metodología que conduce a los que la practican a alcanzar niveles de excelencia en todos los campos.

La reducción de costes y la eliminación de pérdidas es, en esencia, lo que las compañías buscan, y en eso se centra TPM. Para conseguir esto, lo que propone es una mejora continua de las instalaciones y del personal haciéndolos cada vez más autónomos en la toma de decisiones y en la resolución de problemas. De esta manera se consigue la eliminación de pérdidas y una mayor eficiencia en las instalaciones.

Por otro lado, TPM promueve la mejora continua por medio de equipos de mejora para hacer mayor énfasis en la resolución de problemas y en la eliminación de pérdidas, obteniendo así una mejora de las condiciones de operación y una mejora de las instalaciones.

Con todo esto, lo que se consigue son unos automatismos que son asimilados por la compañía y que la hacen más flexible respecto a los cambios de demanda, producción y necesidades de los clientes.

- Reducción drástica de los costes.
- Consecución de altos niveles de calidad.
- Afrontar las distintas necesidades de los clientes.
- Atraer empleados más cualificados

Una de las potenciales ventajas del TPM resulta en que, además de la reducción de costes en general, funciona de manera tal que aumenta la calidad del producto, aumentando las ventas. La vida útil de los equipos también se ve mejorada, al igual que el cumplimiento de los plazos.

A su vez, tal vez una de las mayores ventajas de TPM, esta metodología ofrece a la compañía las herramientas para priorizar las pérdidas y solucionar eficazmente los problemas asociados a las mismas.

3.3 El Objetivo.

El objetivo de TPM radica en maximizar el rendimiento por medio de la reducción continua y sostenible de pérdidas en el proceso productivo, destacando siete grandes tipos distintos de pérdidas:

1. Por avería de los equipos.
2. Debidas a las preparaciones.
3. Por tiempo de ciclo vacío y paradas cortas.
4. Por funcionamiento a velocidad reducida.
5. Por defecto de calidad, recuperaciones y procesado.
6. Por puesta en marcha del equipo.

Esta reducción se hace a través de la creación de una estructura sólida y estable que involucre a todos los departamentos y personas de la organización.

Identificamos, además, esta metodología como una TOP/DOWN, lo que significa que su propósito es el de integrar todas las 'áreas de la compañía, desde las ramas más bajas hasta las más altas, involucrando a todas las partes en su conjunto, a fin de que todas ellas desarrollen un sentido de responsabilidad que les empuje al cumplimiento de las metas.

La necesidad de mejora empieza desde la base, formando a los operadores y estableciendo unos objetivos claros y unos indicadores sencillos y comprensibles. Los llamado KPI's (Key Performance Indicator).

Trata además de formar equipos para fomentar el trabajo colectivo y la creación de estándares para desarrollar el sentido de la responsabilidad con las instalaciones.

Y, sobre todo, fomentar la motivación y superación de todos los que forman la compañía a través de retos de innovación y programas de formación para ampliar conocimientos.

Para garantizar el éxito de la implementación del TPM han de estar siempre presentes la constancia y la rigurosidad en la práctica de la filosofía que este conlleva. Para ello, una parte fundamental del cambio de mentalidad será la de dejar de ver el mantenimiento como un gasto y comenzar a considerarlo como la inversión que es.

Una de las condiciones que son necesarias para que TPM funcione es el trabajo en equipos. Se precisa que estos sean autónomos y que sean capaces de llevar a cabo tareas específicas en todos los ámbitos (administrativos, productivos, etc.). Esto llevará a una mayor eficacia y, está, al cumplimiento general de los objetivos.

3.4 Puntos Clave.

El TPM cuenta con 5 puntos clave en su haber:

1. El desarrollo de una cultura colectiva cuyos esfuerzos se centren en conseguir la máxima eficiencia posible en todo el sistema de producción mediante la reducción y la eliminación de las pérdidas en el proceso productivo.

La mayoría de los sistemas de producción se basan en un paradigma máquina-hombre, y ha de tenerse en cuenta que su dependencia de los equipos aumenta al tiempo que progresa la automatización, en cuanto a lo que hay que mencionar que la eficiencia de la producción se supedita a la habilidad de la gente que la opera, la mantiene y que especifica los métodos de fabricación.

Teniendo esto en cuenta, se establecerán 16 pérdidas principales que entorpecen la eficiencia global del sistema de una fábrica:

LAS 16 PÉRDIDAS PRINCIPALES

<p>Máquina</p> <p>Las pérdidas relacionadas con la eficiencia de las operaciones del equipo.</p>	<p>Paradas planificadas</p> <p>Cambios y ajustes</p> <p>Arranques y paradas</p> <p>Averías</p> <p>Microparos</p> <p>Pérdidas de velocidad</p> <p>Defectos y retrabajo</p>
<p>Mano de obra</p> <p>Las que impiden la eficiencia en el trabajo de las personas.</p>	<p>Pérdidas de gestión</p> <p>Movilización y desplazamiento</p> <p>Organización de líneas</p> <p>Pérdidas en logística</p> <p>Medición de líneas</p>
<p>Material</p> <p>Las pérdidas asociadas al pleno uso de los materiales.</p>	<p>Útiles, herramientas</p> <p>Merma de Material</p> <p>Merma de producto</p>
<p>Energía</p>	<p>Pérdidas de energía</p>

Tabla 1.

Fuente: Heineken España

2. Establecer medidas de prevención de pérdidas, en lugar de corregir los problemas, lo que llevará a obtener Cero Accidentes, Cero Defectos y Cero Fallo, optimizando además los gastos de las instalaciones en su conjunto.

3. Implicar a todos los departamentos de la empresa para aunar esfuerzos de trabajo: marketing, desarrollo, ventas, administración y dirección.

Esto es así puesto que no resulta adecuado implementar las actividades de mejor únicamente en Producción. La eficiencia máxima sólo se conseguirá si TPM se desarrolla en todos los departamentos a la vez que todos ellos participan en su desarrollo.

4. El trabajo en equipo, entendido como grupos de trabajo integrados al sistema productivo, será el medio para la búsqueda más eficiente de la eliminación de problemas.

Se hará distinción de cargos, desde la Dirección hasta los Operarios, todos estarán implicados.

La raíz de este punto clave la encontramos en el objetivo principal de TPM: cambiar el comportamiento y la actitud del personal para cambiar así la cultura corporativa y conseguir un perfecto proceso de producción. *En TPM participa todo el mundo.*

5. El aprendizaje continuo será otro de los puntos clave, y se realizará a través de actividades cruzadas de equipos de mejor y solución de problemas enfocado a estar presente en todas las oportunidades de mejora tanto en producción, mantenimiento, calidad, ventas y oficinas, a fin de alcanzar Cero Pérdidas.

TPM se caracteriza, entre otras cosas, por el establecimiento superpuesto de actividades de pequeños grupos, que establecen sus propios temas y objetivos, dentro de una estructura formal, siendo la incorporación a estos grupos obligatorias, y no voluntaria como ocurre en estructuras como TQM.

3.5 Los 8 Pilares.

Los pilares hacen referencia a los procesos fundamentales en los que se basa la metodología TPM. Cada pilar está liderado por un miembro de los distintos departamentos que confluyen en la fábrica y cada uno posee una metodología específica. Los pilares permiten involucrar a todas las personas que trabajan en la fábrica.

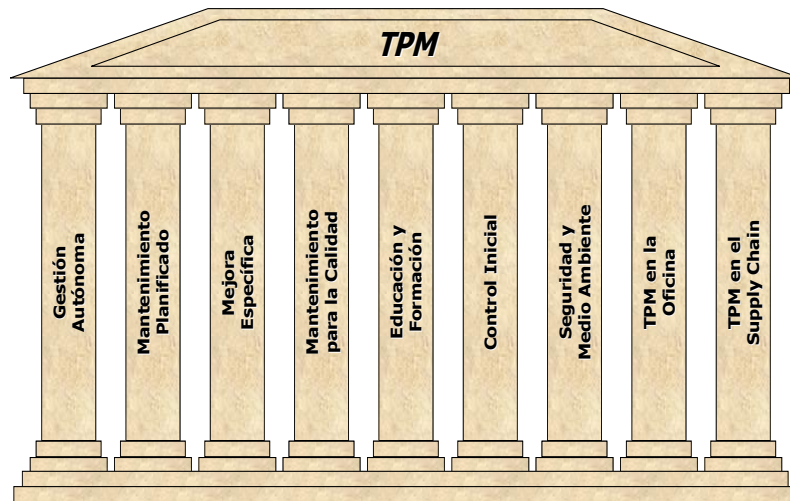


Imagen 3.

Fuente: Heineken España.

El pilar de mejora es el responsable de dar apoyo a los equipos de Reducción Energética

Los 8 pilares del TPM son:

1. Mejora Específica
2. Gestión Autónoma
3. Mantenimiento Planificado
4. Control de la Fase Inicial
5. Calidad

6. Formación
7. TPM en oficinas
8. Seguridad Salud y Medio Ambiente

Se procede a la explicación de estos pilares:

1. Mejora Específica (*Kobetsu-Kaizen*)

Mediante este pilar se aporta metodologías a fin de llegar al problema desde su raíz y contar con una previa planificación que permita conocer su meta y en cuánto tiempo se logrará esta.

Se localizará en primer lugar el factor a mejorar y este pasará automáticamente a considerarse la meta, calculándose el tiempo que hará falta para solventarlo.

Se establecerán para ellos actividades organizadas en pequeños grupos, de forma que la eficiencia en la producción se optimizará y el consumo se reducirá mediante el análisis de pérdidas.

La misión, por tanto, de este primer pilar, es un análisis sistemático y metodológico del total de las pérdidas junto con otros pilares para garantizar una estrategia homogénea de reducción de costes e incrementación de la sostenibilidad.

2. Gestión Autónoma

Mediante este pilar se procura garantizar la involucración de los operadores a fin de que estos adopten el papel de precursores de todos los cambios que resulten necesarios para garantizar y mantener los altos niveles de eficiencia y bienestar.

Uno de los objetivos de este pilar es el de crear un sentimiento de propiedad hacia los equipos y los mismos procesos por parte de los operadores. Sentimiento que se desarrollará mediante la implantación de inspecciones diarias, detección de anomalías, autocontrol de la calidad del producto, realización de pequeñas reparaciones y sustituciones, y la medición de microparos y análisis de averías.

De este modo se conseguirán la ausencia de desgastes y desajustes y de partes deterioradas, y un mantenimiento y una reparación idóneas.

Así pues, la Gestión Autónoma se enfoca al desarrollo de las habilidades de los operadores a fin de que, por sí mismos, sean capaces de optimizar el funcionamiento de su equipo, manteniéndolo en condiciones óptimas y previniendo fallos y averías.

3. Mantenimiento Planificado

Con este pilar, se busca alcanzar cero averías y cero microparos a fin de garantizar la completa disponibilidad de las instalaciones, para lo cual será necesario evitar las paradas no planificadas, asegurando así la producción; la extensión de la vida útil de las instalaciones; y la mejora de las habilidades de los operadores al igual que su organización.

Básicamente, se trata de realizar el mantenimiento en el momento oportuno para evitar el fallo de los equipos. Para ello, su prioridad será entender la situación presente en el proceso y en el equipo teniendo, para ello, en cuenta el equilibrio entre costes y beneficios.

4. Control de la Fase Inicial

Pilar basado en el uso de la información recopilada por los pilares de Gestión Autónoma, de Mantenimiento Planificado y de Mejora Específica a cerca de las máquinas y los procesos a fin de facilitar la introducción de nuevos equipos.

El objetivo de este pilar será, pues, reducir el deterioro de los equipos y la reducción de los costes del mantenimiento de los mismo, consiguiendo así que los equipos de producción sean fiables, seguros, fáciles de mantener y fáciles de operar.

Se conseguirá con este pilar un arranque vertical, caracterizado por un arranque rápido, libre de problemas y correcto desde el principio.

5. Calidad (*Hinshitsu – Hozen*)

El objetivo de este pilar es el de alcanzar *defectos cero* y *pérdidas cero* a base de crear, mantener y controlar las condiciones básicas de los equipos manteniendo una optimización de los procesos.

Encontramos los siguientes puntos: construir un sistema de autocontrol mediante un cambio en la mentalidad y el fortalecimiento de la filosofía, establecer un sistema de gestión eficiente y profesional para mantener los logros, satisfacer a los clientes dándoles la calidad que demandan, mantener y mejorar la calidad del producto al menos coste posible, y enfatizar el desarrollo de los expertos a fin de que colaboren con los operarios.

6. Formación

El propósito de este pilar es el de conseguir y mantener las competencias en relación con los objetivos de la compañía mediante el desarrollo de las habilidades funcionales, de gestión y de comportamiento en todos los niveles del proceso.

Se encarga de la formación técnica para evitar las pérdidas debidas a la mano de obra y de los métodos de contribución a los equipos.

Será también uno de sus objetivos la reducción del *gap*, el espacio entre lo que un trabajador donde saber y lo que realmente sabe).

Las ventajas que se obtendrán de este pilar serán, entre otras, la mejora del área de responsabilidad de los operarios, y la estimulación de una formación sistemática en el personal.

7. TPM en Oficinas

Se trata de la eliminación de las pérdidas causadas por las actividades administrativas, proceso que además apoya la mejora en el proceso de fabricación y Gestión Autónoma de oficinas.

Significa, por tanto, llevar toda la política de mejoramiento y manejo administrativo a las oficinas, logrando así que las mejoras lleguen a la gerencia y que no se vean reducidos a las actividades de la planta de producción.

8. Seguridad, Salud y Medio Ambiente.

Pilar encargado de las políticas medioambientales y de seguridad dadas por el gobierno, y se halla enfocado a conseguir un ambiente de trabajo sano, seguro y confortable.

Trata de evitar los accidentes y la contaminación que puedan ser ocasionados por un mal funcionamiento del equipo, que puede ser causado por una mala distribución de los mismos o de las herramientas en el área de trabajo.

Se establecerán así sistemas para la inspección de seguridad de equipos, análisis de riesgos, etc.

Por tanto, su misión es la de crear un sistema de prevención basado en el TPM como herramienta enfocada a la mejora continua a través de identificadores de riesgos, reducciones de este, observaciones preventivas, *near misses*, etc.

3.6 Herramientas para el análisis de problemas.

Con el fin de la completa eliminación de los problemas, es necesaria la realización de un detallado análisis de la situación que haga posible proponer y ejecutar acciones eficaces que garanticen que éstos no vuelvas a ocurrir.

Las herramientas más importantes empleadas por los Equipos de Mejora para identificar, priorizar, analizar y eliminar los problemas son:

1. El diagrama de Pareto.

EJEMPLO:

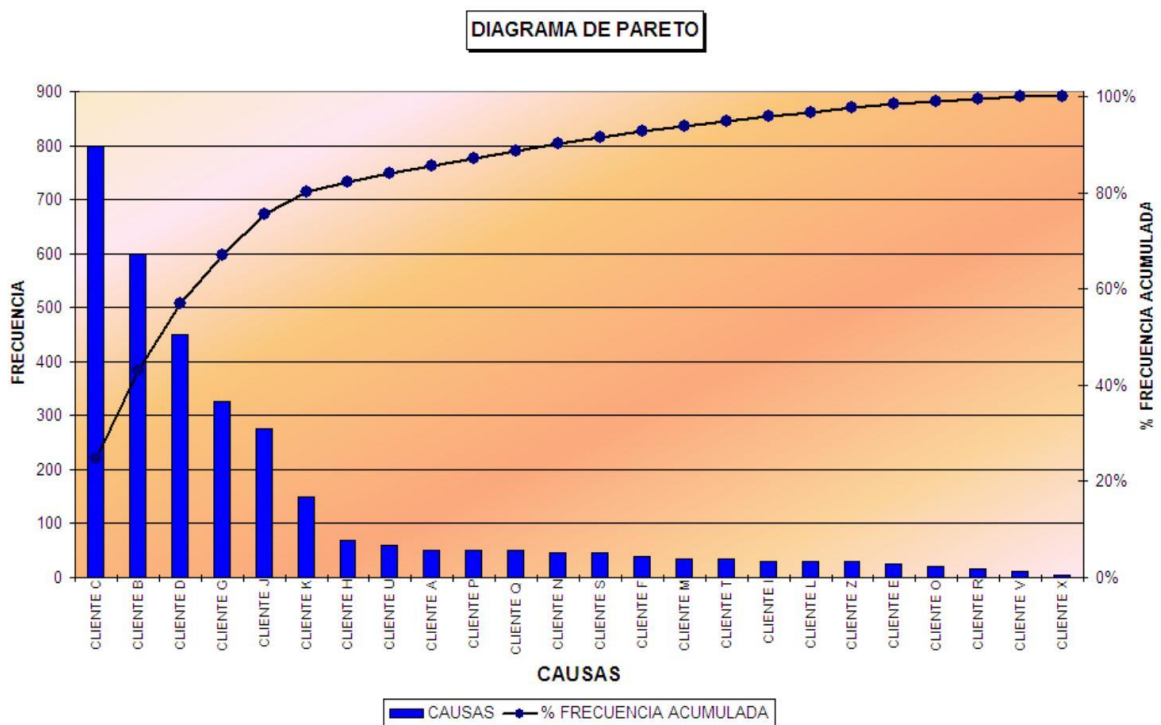


Imagen 4.

Fuente: *economia-excel*, online.

Se trata de un gráfico de barras, las cuales se hayan dispuestas en orden decreciente a fin de facilitar la localización sistemática de los problemas a resolver, quedando estos así ordenados según su importancia.

Se basa, como sugiere su nombre, en el principio de Pareto, o la ley "80-20", por la cual con el 20% de las indicaciones de tema se obtiene el 80% del total del problema.

Es así que, mediante este gráfico, se desglosa un problema de grandes dimensiones en pequeñas partes, identificando las más relevantes para el total.

Se enfocarán, por tanto, los recursos disponibles según las prioridades que quedan expuestas en el gráfico, focalizando a la vez en las actividades en las que sea más urgente priorizar, concentrándose así los esfuerzos en las áreas que más generosamente responderán a las mejoras y al cumplimiento de los objetivos.

2. El diagrama Causa-Efecto o Ishikawa.

El fin de esta herramienta, inventada por Kaoru Ishikawa, es la de listar todas las causas que puedan haber causado un problema específico de manera gráfica, plasmando de forma visual la relación entre un efecto y los factores que le afectan.

EJEMPLO:

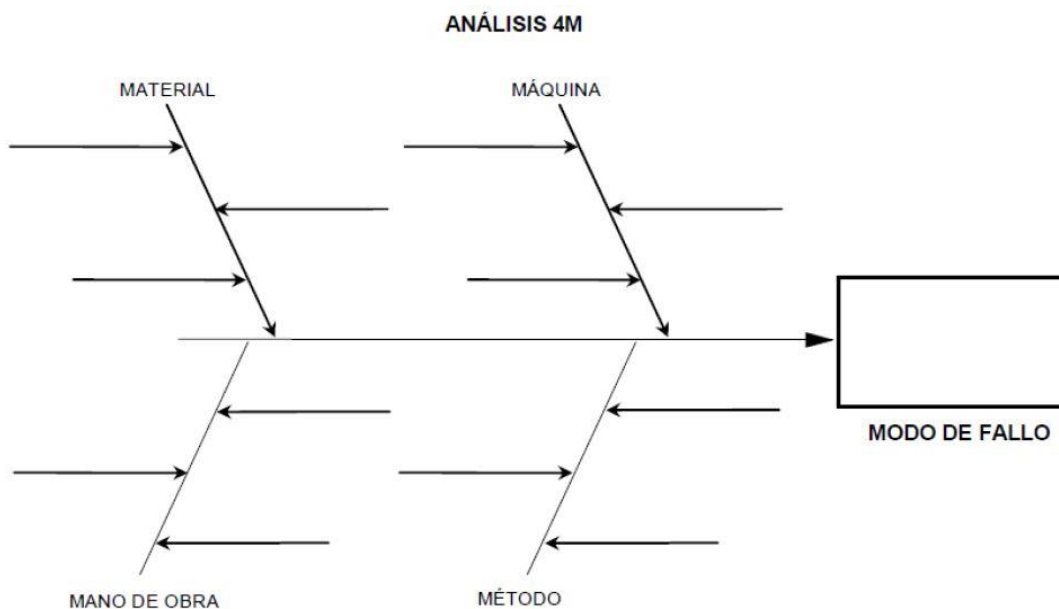


Imagen 5:

Fuente: Heineken España.

También recibe el nombre de *espina de pescado*, debido a la forma que adopta.

Debe emplearse para encontrar la causa de un problema o condición, y, gracias a su estructura, permite visualizar y estudiar el proceso completo y no solo el factor en cuestión.

Vemos así que los numerosos efectos que influyen en un único proceso pueden derivar de otras tantas causas principales, las cuales pueden agruparse en cuatro categorías principales, las 4M:

- Método
- Máquina
- Mano de obra
- Material

Esto se realiza como fase previa al análisis de los cinco porqués (5PQ).

Este diagrama causa-efecto se aplicará llevándose a cabo de forma clara y concisa.

Su elaboración se basa en indicar el efecto en el extremo derecho de un rectángulo, y trazar una línea recta que atraviese toda la hoja hasta el rectángulo.

Se trazarán flechas (ramas principales) orientadas hacia la flecha principal representando las macro-causas (Ms).

Para cada Ms se deberán buscar todas las posibles causas, llevando a cabo una investigación para remarcar las más urgentes.

Es en estas Ms más urgentes en las que habrá que ahondar la investigación por medio de los 5PQ y llegar así a la causa-raíz.

Para implementar esta herramienta de la manera más eficiente se debe definir el efecto de una forma muy específica, modo de fallo, que garantizará un enfoque más preciso de las causas.

3. Los 5PQ.

Esta es una herramienta muy popular en las actividades de TPM, pero por su sencillez y eficacia puede utilizarse en todos los ámbitos de la empresa o incluso en el día a día.

Fue desarrollada por Sakichi Toyoda, padre de la casa Toyota, y a día de hoy 9 de cada 10 empresas hacen uso de ella para el análisis de cada problema.

EJEMPLO:

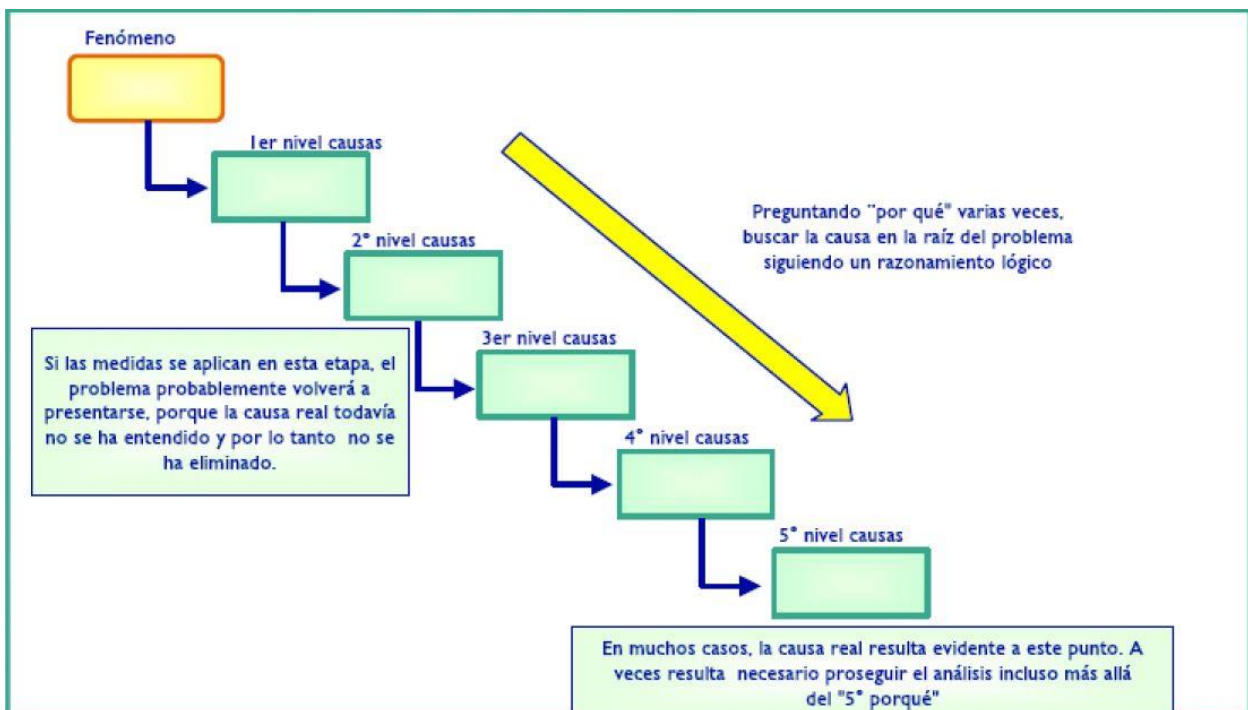


Imagen 6.

Fuente: Heineken España.

Se basa, únicamente, en responder 5 veces *por qué* cuando se presenta un problema.

Cada pregunta debe hacerse en relación a la anterior, creando una cadena, hasta llegar a la causa raíz.

Para responder a los cinco *por qué*s, obviamente existen varias respuestas, por ello lo más inteligente es limitarse a recoger las pruebas físicas.

Y, a la hora de verificar, marcha atrás se verá si realmente tiene sentido y está bien hecho.

Se considerará que se ha llegado a la raíz cuando se pueda establecer una relación entre la causa y la acción que la elimina por completo.

Bajo ningún concepto se ha de saltar directamente a las conclusiones ni atajar los síntomas.

Siempre será preferible dedicarse a la resolución de problemas específicos, pues los generales presentan un margen de error demasiado alto.

Y no debe escatimarse a la hora de reunir personal suficiente para el equipo que vaya a realizar el análisis.

4. Kaizen.

La Mejora-Específica, o *Kobetsu-Kaizen*, trata de disponer las actividades en equipos de reducido número a fin de garantizar la eficiencia del proceso de producción reduciendo al tiempo, el consumo de recursos al mínimo y maximizando la producción mediante un completo análisis de pérdidas.

Los equipos Kaizen (*mejora* en japonés) se caracterizan por una corta vida, comprendida entre 3 y 4 semanas, y se enfocan principalmente al ataque de problemas específicos, con un único modo de fallo rigurosamente analizado y medido. La condición para llevar a cabo un Kaizen es la repetitividad de un problema.

Un ejemplo de contratiempo para la creación de un Kaizen sería el atasco repetitivo de las etiquetas en el cilindro encolador de una de las etiquetadoras, para lo que el equipo Kaizen realizaría un análisis y procedería a la erradicación del problema.

Los conforman entre 4 y 5 miembros: un facilitador, encargado de conseguir los recursos y todo lo necesario para garantizar el avance del equipo, y cuyo papel desempeña el líder del pilar; un mecánico o eléctrico; un jefe de turno; y un operario.

En primer lugar, este equipo ha de determinar el objetivo sobre el cual se debe actuar, para lo que se establecerán una serie de pasos:

- Paso 1. Desglose.

Ha de justificarse el objeto de ataque y de qué forma se ha concluido que se trata del foco del desajuste.

- Paso 2. El Fallo.

Se describirá el *fallo funcional* de la máquina (aquello que ha dejado de actuar correctamente) y el *modo de fallo* (aquello que ha provocado el fallo funcional).

- Paso 3. Entender la máquina y restaurar condiciones básicas.

Se pasará a describir, a fin de comprender y hacer comprender, el funcionamiento de la máquina en cuestión a fin de restablecer ésta a sus condiciones iniciales.

- Paso 4. Análisis del problema.

Mediante los 5 *Porqués* se tratará de llegar a la raíz del problema [del modo en que explicábamos en el apartado de las Herramientas relativo al 5PQ].

- Paso 5. Soluciones y seguimiento.

Se propondrán distintas soluciones y se dispondrán los medios para llevarlas a cabo de la forma más eficiente posible.

Durante un periodo de entre 4 y 5 semanas se realizará un seguimiento meticuloso de las acciones que finalmente hayan sido seleccionadas para la solución del problema.

- Paso 6. Estandarización.

Una vez demostrada la validez de las soluciones puestas en marcha sobre la máquina defectuosa, estas pasarán a estandarizarse a fin de mantenerlas y darles continuidad hasta la completa y definitiva erradicación de la pérdida.

5. Simec.

Simec es una aplicación informática de apoyo al TPM desarrollada por Heineken y que se está implantando en toda la compañía a nivel mundial.

Sirve como base de datos donde todo el personal de fábrica puede introducir casi cualquier tipo de información acerca del desarrollo de trabajo en la fábrica.



Imagen 7.

Fuente: Simec. Heineken España.

Simec sustituye al antiguo proceso de tarjetas que estaba establecido en los comienzos del TPM en la fábrica. Cuando algún operario o persona de la fábrica veía alguna incidencia, avería o tenía alguna sugerencia, rellenaba una tarjeta con los datos de su incidencia o sugerencia, estas tarjetas eran recogidas por personas determinadas encargadas de poner los medios necesarios para su ejecución.

Simec utiliza la misma filosofía pero de manera más automatizada y con el aliciente de poder disponer de una base de datos donde buscar averías repetitivas, acciones de trabajo diario, sugerencias de mejora o análisis de incidencias como por ejemplo, cuestiones relacionadas con seguridad o equipos de mejora Kaizen.

Este programa es muy útil para restablecer las condiciones iniciales de una máquina ya que de forma sencilla e intuitiva puede mostrarnos una lista de acciones pendientes en la máquina en concreto.

3.7 Aplicación a la Reducción de Consumos.



Imagen 8.

Fuente: Heineken España

El objetivo que tienen por principal los equipos de mejora, y al cual se enfoca su ruta de actuación, es la reducción del consumo de recursos (electricidad, aire comprimido, agua, energía térmica) en áreas reducidas, y los equipos que la implementan constarán de entre 2 y 5 personas, entre los cuales se hallará siempre un especialista.

Será por tanto este pilar de mejora a cuyo cargo correrá el apoyo de los equipos de Reducción Energética, cuyo enfoque priorizará en las pérdidas específicas (el agua, por ejemplo). Por otro lado, si el área de la pérdida resulta demasiado extensa, dicho equipo realizará un despliegue de pérdidas más crítico y extenso con el objeto de reducir o fragmenta dicha área de pérdida.

Estos equipos se guiarán en función de una estructuración en 5 puntos:

1. Entender la situación actual.

- Dividir la zona principal en áreas de trabajo.
- Desglosar consumo de energía según contadores.
- Fijar prioridades y definir sub-áreas críticas.
- Establecer objetivos para el área principal o sub-área según el nivel de medida.

➤ Objetivo: enfocar claramente el problema a solucionar por el equipo.

➤ Al final del paso 1:

- Las áreas de trabajo están bien definidas por el equipo basadas en los despliegues.
- En caso de no existir contadores en el área de trabajo, se ha ligado a otro contador para así, ser capaces de valorar la evolución del equipo.
- Se han investigado los actuales consumos y puntos de referencia, y se ha fijado el objetivo del equipo

2. Restablecer las condiciones básicas.
 - Inspeccionar el área crítica y poner etiquetas de anomalías.
 - Solucionar anomalías.
 - Restaurar todos los procedimientos de trabajo, incluyendo los de mantenimiento.
 - Formar a operadores y a técnicos.

3. Definir e implementar las mejores condiciones.
 - Definir el límite tecnológico de consumo; condiciones ideales.
 - Identificar pérdidas debidas a condiciones no ideales.
 - Definir las causas de no estar en condiciones ideales.
 - Mejorar condiciones tomando contramedidas y mejorando estándares.
 - Formar a operadores y a técnicos en los nuevos estándares
 - Identificar indicadores y establecer sistema de seguimiento.

4. Seguimiento de los resultados e investigar las desviaciones.
 - Monitorizar resultados e identificar desviaciones.
 - Encontrar causa raíz (5PQ).
 - Definir contramedidas e implementarlas.
 - Formar a operadores y a técnicos.

5. Definir los estándares para el mantenimiento de los resultados.

- Actualizar procedimientos de trabajo.
- Establecer sistemas de seguimiento (monitorización).
- Actualizar el Plan de mantenimiento.
- Definir *trigger points* y procedimiento “qué hacer en caso de superar *trigger point*”.

Cabe señalar que al final de cada paso se ha de resumir el impacto de cada uno de ellos en el problema en tratamiento y las claves aprendidas.

4. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA.

Dentro del complejo de la fábrica de Heineken de Madrid en la que se está realizando este proyecto, el departamento de envasado cuenta con 7 líneas de producción divididas en dos secciones. Productos no retornables y productos retornables.

La línea de producción en la que vamos a centrar este proyecto es la mayor y más compleja línea de las 7 que hay. La denominada línea 84, capaz de producir 80.000 botellas retornables de quinto y cuarto por hora. Estas botellas están orientadas a abastecer los hoteles, restaurantes y cafeterías de las áreas de influencia de la fábrica.

La mayor peculiaridad de esta línea es que se trata de una línea de producción doble. Es decir, cuenta con dos llenadoras capaces de llenar 40.000 botellas a la hora, un pasteurizador con dos alturas de transportes, dos etiquetadoras y conectando todas estas máquinas dos vías paralelas de transportes. El resto de máquinas de la línea, léase lavadora de botellas y cajas, robots empacador y desempacador, paletizador y despaletizador, están dimensionados para absorber el volumen de producción que exige tener dos llenadoras en lugar de una. [Plano n.2]

La línea tiene por un lado el proceso que realizan las botellas desde que entran hasta que salen ya procesadas y por otro lado el proceso de las cajas que entran junto con las botellas y se reutilizan para volver a llenarlas de botellas y sacarlas de la línea. El proceso desde que entra una botella hasta que sale de la línea es el siguiente:

Primero las botellas entran en la línea a través del despaletizador. Las botellas llegan de los almacenes de logística en cajas según el formato y el tipo de cerveza ordenadas en pilas sobre pallets. Estos pallets son transportados desde logística hasta el despaletizador por carretillas mecánicas automáticas. El despaletizador se encarga de descargar estas cajas sobre los transportes de entrada a la línea que forman en dos vías paralelas. Además de este sistema, también existe otra forma de alimentar la línea de botellas cuando se produce una parada o avería en la línea que impida meter cajas. Se trata de meter botellas nuevas, botellas que no proceden de establecimientos hosteleros. Estas botellas llegan de logística ordenadas unas encima de otras sin cajas y entran a través del despaletizador de botella nueva a unos transportes que les lleven directamente a la entrada de la lavadora de botellas. Este sistema de abastecimiento de línea también se utiliza para equilibrar la línea de cajas y botellas.

Una vez las cajas llenas de botellas vacías han sido despaletizadas y llegan a los transportes de la línea, la máquina que se encuentran a continuación es el robot desempacador. Este robot porta un cabezal capaz de aspirar las botellas de las cajas y dejarlas sobre el transporte de botellas. En este punto de la línea el transporte de botellas es de una única vía. Por tanto, en esta máquina las botellas y las cajas son separadas para llevar caminos diferentes y volverse a encontrar al final del proceso.

Las botellas siguen el transporte hasta la lavadora de botellas. Hay que destacar que las botellas proceden de establecimientos hosteleros y almacenes de logística por lo que necesitan ser lavadas e higienizadas antes de poder llenarse de nuevo.

En este punto se juntan los ramales de botellas viejas y botellas nuevas. Entran a la lavadora donde se les realiza una serie de lavados en los que intervienen productos químicos como sosa. Esta máquina es una de las principales consumidoras de energía térmica y agua. Posteriormente analizaremos más en profundidad el funcionamiento de esta máquina. El proceso en la lavadora dura aproximadamente 45 minutos.

Al salir de la lavadora, las botellas están limpias, sin rastros de suciedad u objetos en su interior. Listas para ser llenadas.

Es en este momento en el que la línea de transportes se divide en dos, esto es para abastecer a cada una de las llenadoras. No obstante, antes de llegar a las llenadoras, las botellas en cada vía pasan por un inspector de botellas que analiza mediante cámara que las botellas están completamente limpias y no ha quedado resto alguno de su proceso de lavado. Y por un clasificador que rechaza las botellas que no son del formato que se está produciendo en cada momento.

Después de las comprobaciones, las botellas llegan a las llenadoras-taponadoras. Las llenadoras son máquinas rotativas en las que las botellas entran de una en una y se llenan de la cerveza que se esté produciendo en ese instante. Al final de este proceso, la taponadora coloca las chapas a las botellas para cerrarlas y completar el proceso de llenado y taponado de la máquina. Las llenadoras suponen el cuello de botella de la línea. Cada llenadora trabaja a una velocidad nominal de 40.000 botellas /hora.

Una vez las botellas están llenas, viajan por los dos transportes hacia el pasteurizador para ser sometidas a un proceso térmico en el que se eliminará cualquier resto de

microorganismo que pueda proliferar en la cerveza. Cada vía de transporte conecta con uno de los niveles del pasteurizador.

El pasteurizador es un túnel de lavado de dos niveles en el que gracias a la acción de cortinas de agua a distintas temperaturas, las botellas se van calentando hasta completar el proceso de la pasteurización.

Las botellas llegan de las vías de transporte y pasan dentro de la máquina. Allí permanecen 56 minutos. El tiempo que tardan en calentarse, pasteurizar y enfriarse para ser devueltos a los transportes.

De los transportes de salida del pasteurizador las botellas salen listas para el consumo. Lo único que les falta es la marca identificativa, la cual se coloca en las etiquetadoras.

Las etiquetadoras son las máquinas donde se les coloca la etiqueta identificativa del tipo de producto a las botellas. Son máquinas rotativas al igual que las llenadoras, las botellas vuelven a entrar de una en una a las máquinas y dentro de ellas van pasando por estaciones donde se les va colocando las etiquetas pertinentes, etiqueta de collarín, etiqueta de cuerpo y contraetiqueta.

Al final del proceso de etiquetado, las botellas están perfectamente listas para su consumo y tan solo tienen que volver a ser almacenadas. Este proceso se realiza en el robot empacador. Las botellas que salen de las etiquetadoras por vías diferentes se vuelven a juntar en una sola vía que llega al robot. Este punto es el final del camino de las botellas solas.

El robot empacador realiza la función contraria al robot desempacador. Coge las botellas del transporte con el mismo cabezal con el que el robot desempacador las dejaba y, las mete en las cajas vacías que también llegan al robot desde el transporte de cajas.

Posteriormente, las cajas con botellas llenas son transportadas hasta el paletizador, donde serán colocadas en pilas sobre pallets. Los pallets llenos son recogidos por carretillas automáticas que los colocarán sobre el cargador de camiones, un transporte en la zona de logística donde las cajas son introducidas en camiones.

La línea de cajas va desde la entrada por el despaletizador, donde las cajas todavía van con botellas. Llegan al robot desempacador, se separan de las botellas y viajan por los transportes hasta la lavadora de cajas.

En la lavadora se realizan todos los procesos de lavado a las cajas, una vez listas pasan al almacén dinámico de cajas. En este almacén se almacenan las cajas para ir alimentando a la siguiente máquina, el robot empacador, conforme la demanda de botellas llenas aumenta. El almacén sirve entre otras cosas para absorber paradas o microparadas de la línea durante la producción y es muy útil para agilizar los cambios de formatos en la línea.

Cuando el robot empacador necesita cajas para poder empacar las botellas, el almacén las suministra de manera autónoma a través de transportes. Las cajas son llenadas de botellas en el robot empacador y siguen su camino hasta el paletizador completando de esta manera el ciclo de cajas dentro de la línea de producción.

En cuanto a la red de tuberías de agua y vapor. Existen dos entradas de agua a la zona de envasado. Por ambas tuberías fluye agua procedente de la planta de ósmosis inversa. Esta agua se toma principalmente de pozos propios de Heineken y de la red del Canal de Isabel II. A partir de estas dos tuberías que atraviesan la planta de envasado, salen los ramales que conectan con las máquinas consumidoras. La tubería de vapor conforma un ciclo cerrado junto con las calderas y las tuberías de retorno de condensados y funciona de la misma manera que el agua. Una tubería principal entra en envasado y recorre toda la planta. Las máquinas consumidoras utilizan ese vapor por medio de ramales conectados a la tubería principal y devuelven condensados a las calderas.

5. CUESTIONES TEÓRICAS RELEVANTES.

5.1 DEMOSTRACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA.

Sabemos que en termodinámica existen 3 ecuaciones de estado:

$$\text{Energía interna} \quad \rightarrow \quad u = u(v, T)$$

$$\text{Entalpía} \quad \rightarrow \quad h = h(p, T)$$

$$\text{Entropía} \quad \rightarrow \quad s = s(v, T)$$

Estudiaremos más a fondo la segunda ecuación, ya que en ella intervienen valores de presión (p) y Temperatura (T), que por nuestras instalaciones son fácilmente medibles:

$$\text{Entalpía} \quad \rightarrow \quad h = h(P, T)$$

Para poder valorar dicha función de estado la vamos a expresar en forma de ecuación diferencial:

$$dh = \left(\frac{\partial h}{\partial p} \right)_T dp + \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p dT$$

Para nuestro caso, la transformación (calentamiento) que sufre el agua de alimentación en las calderas es a $p = \text{Cte}$ (en concreto a 8 bar). De esta agua de alimentación se obtiene un vapor, el cual es conducido a diferentes puntos de la fábrica y es utilizado para calentar en diversos procesos mediante intercambiadores (tubulares o de placas). En todos estos procesos, el vapor cede su energía a presión constante a otras soluciones, tales como CO₂, cerveza, agua,...

En función del intercambiador y del proceso en cuestión, tendremos una alimentación de vapor de entre 4 y 8 bar. Para los que tendremos un intercambio de energía bien diferente.

Durante el intercambio el vapor cede su calor al otro fluido enfriándose a presión constante, bien es cierto que hay pérdidas de carga en función del intercambiador.

Tras enfriarse, es retornado en forma de condensado (agua + vapor) al tanque de alimentación de agua de las calderas, bien sea por presión de la propia línea de condensados o siendo necesaria la instalación de un tanque de condensados, para posteriormente impulsar

dicho condensado al tanque de alimentación (impulsión realizada en unos casos por estar presurizado el tanque y en otros por colocación de una bomba).

Por tanto, siendo todos los procesos a $p = \text{Cte}$ el primer miembro de la ecuación anterior es 0 y nos queda que:

$$dh = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p dT \quad [1]$$

Por otro lado, según el primer principio de la termodinámica tenemos que la capacidad calorífica (c) de un proceso es:

$$c = q + |Wr| = \Delta U + W_{ext}$$

Expresando el primer principio en función de la temperatura, tenemos:

$$c = \frac{dq + |Wr|}{dT} = \frac{du + dW_{ext}}{dT}$$

Siendo el trabajo exterior dependiente de las propiedades termodinámicas de (p, v), por tanto:

$$c = \frac{dq + |Wr|}{dT} = \frac{du + pdv}{dT} = \frac{dh - vdp}{dT}$$

Escogiendo la siguiente igualdad:

$$cdT = dh - vdp$$

Y como nuestros procesos se desarrollan a $p = \text{Cte}$, tendremos:

$$dh = cdT \quad [2]$$

Sustituyendo [2] en [1]:

$$cdT = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p dT$$

Simplificando:

$$\boxed{c = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p}$$

Con lo que se acaba de demostrar que la capacidad calorífica que se intercambia en un proceso o transformación a $p = \text{Cte}$, sólo depende de la Temperatura.

Esta capacidad calorífica se le denomina *calor específico* cuando estamos en variaciones de temperaturas en un mismo estado (gas, líquido y sólido). Y será *calor latente* cuando se dé un cambio de estado. Energía necesaria para cambiar de fase (vaporización, fusión, sublimación) y por tanto ya no depende de la temperatura. El cambio de fase se hace a $p = \text{Cte}$ y $T = \text{Cte}$.

$$\text{Calor específico} \quad \rightarrow \quad c_e \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right) \rightarrow h = c_e \Delta T \quad \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$\text{Calor latente} \quad \rightarrow \quad c = L \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \rightarrow h = c_e \quad \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

Una vez que tenemos esto podemos calcular el intercambio energético a $p = \text{Cte}$ mediante las conocidas fórmulas de:

$$\text{Sin cambio de estado} \quad \rightarrow \quad \boxed{Q = mh = mc_e \Delta T \quad (\text{kJ})}$$

$$\text{Con cambio de estado} \quad \rightarrow \quad \boxed{Q = mh = mL \quad (\text{kJ})}$$

5.2 ACLARACIÓN SOBRE LAS MEDIDAS DE PRESIÓN.

La presión atmosférica es de:

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa} = 760 \text{ mm Hg} = 1,013 \text{ bar} = 1,033 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Es importante aclarar la presión relativa y la absoluta:

- Presión relativa: Presión que nos dan casi todos los aparatos de medida (manómetros, sondas de presión). No se tiene en cuenta la atmosférica.

$$P_{\text{atmosférica}} = 0 \text{ bar}$$

- Presión absoluta: Es la presión real, donde se tiene en cuenta la atmosférica.

$$P_{\text{atmosférica}} = 1 \text{ bar}$$

$$P_{\text{absoluta}} = P_{\text{relativa}} + P_{\text{atmosférica}} = P_{\text{relativa}} + 1 \text{ bar}$$

6. DESGLOSES DE CONSUMO.

El motivo por el cual se ha elegido esta línea y no otra para la realización del proyecto queda reflejado en estos desgloses de consumo de agua.

Diagrama de Pareto de los departamentos consumidores de la fábrica.

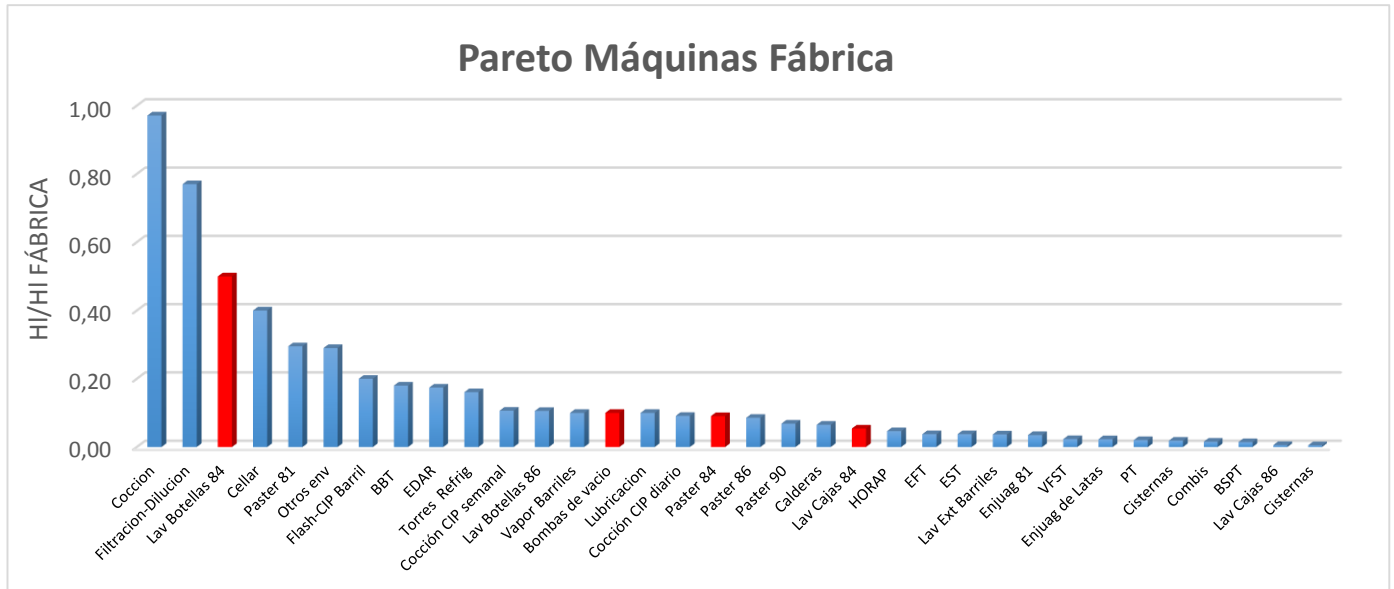


Gráfico 1.

Fuente: propia.

Diagrama de Pareto de las máquinas consumidores de la fábrica:

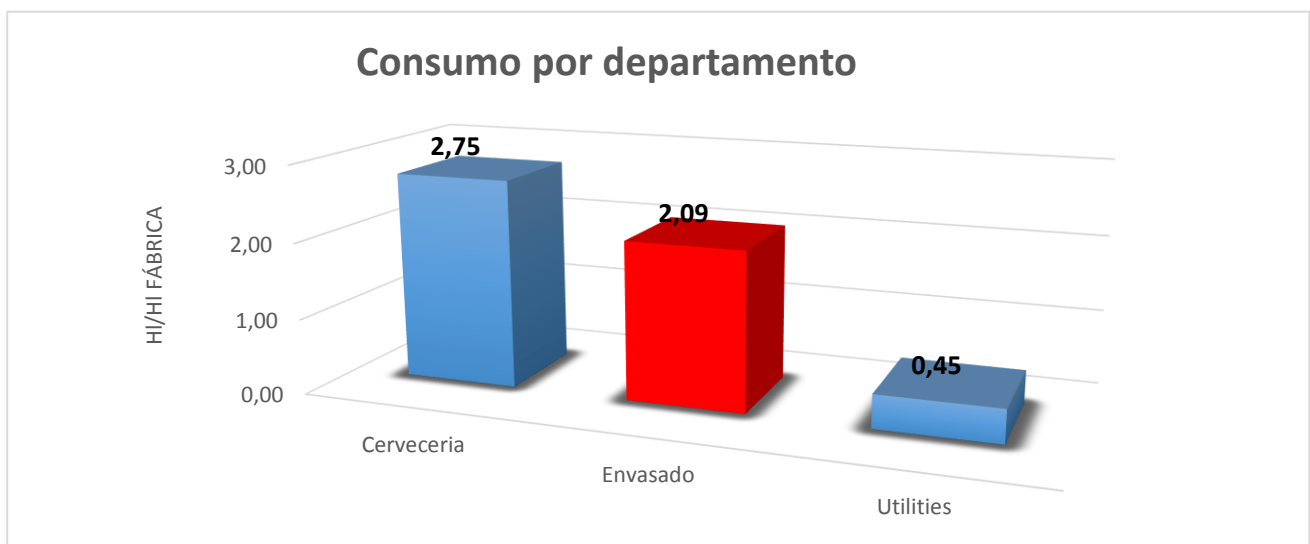


Gráfico 2.

Fuente: propia.

Diagrama de Pareto de las máquinas consumidoras del departamento de envasado:

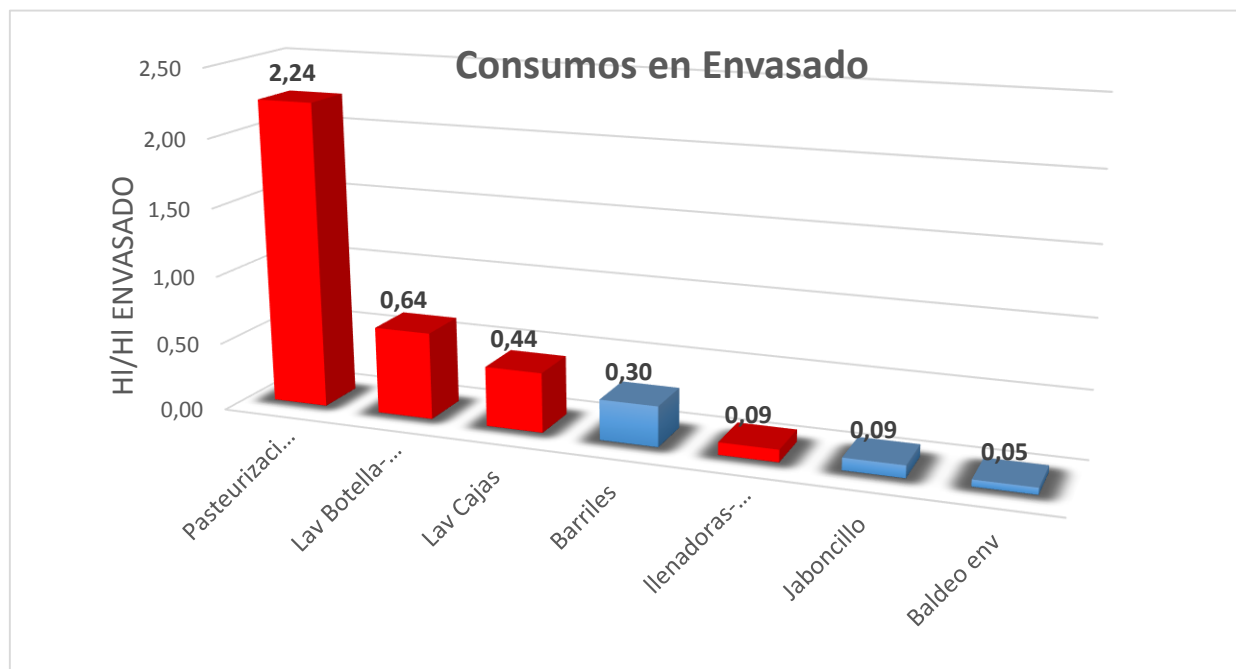


Gráfico 3.

Fuente: propia.

Como podemos deducir de los diagramas arriba representados, el segundo consumo más elevado de los departamentos de la fábrica responde al de envasado, en el cual se centra el proyecto. En este departamento, encontramos en las distintas líneas de producción y muy considerable número de máquinas consumidoras de agua, entre las que destacan negativamente, por su consumo excesivo, las máquinas de la *línea 84*, con la lavadora de botellas como principal consumidora, seguida del pasteurizador, la lavadora de cajas y las bombas de vacío de las llenadoras.

7. PASTEURIZADOR.

7.1 Descripción del Problema y Desgloses.

El principal problema que encontramos en el pasteurizador radica en el rebose continuo de sus baños, lo que resulta un claro indicador de que el equilibrio entre los mismo es incorrecto.

Los desgloses de consumo de agua de esta máquina muestran que se trata de una de las principales consumidoras de la línea.

El foco de ataque será, por tanto, controlar dicho rebose y reducirlo al mínimo.

Consumo mensual del año 2015 hasta el inicio del proyecto:

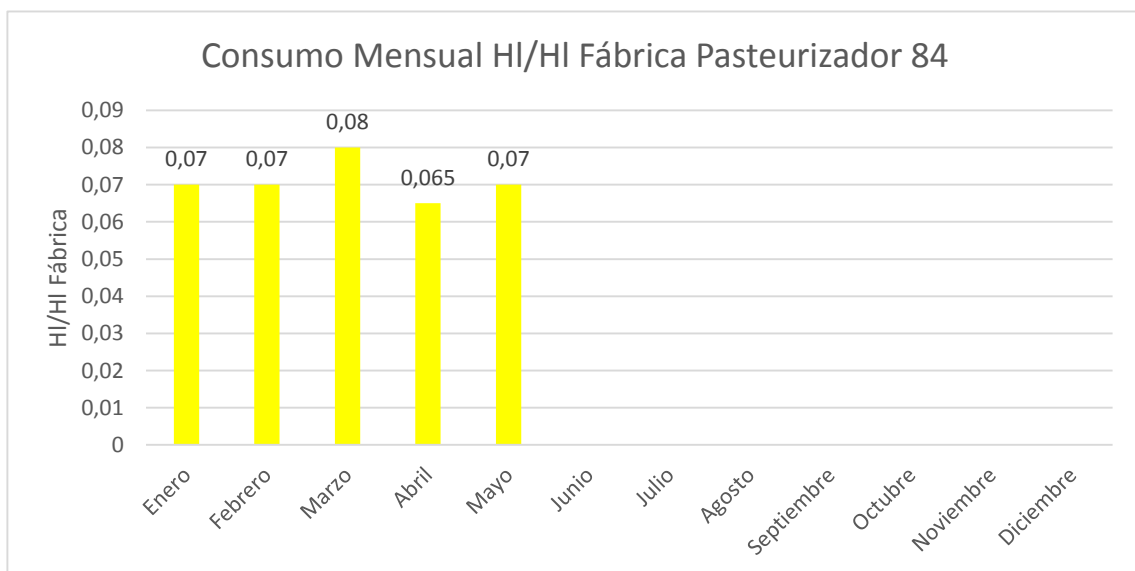


Gráfico 4.

Fuente: propia.

Consumo desde enero hasta el comienzo del análisis por máquinas consumidoras en el Clúster retornable, HORECA:

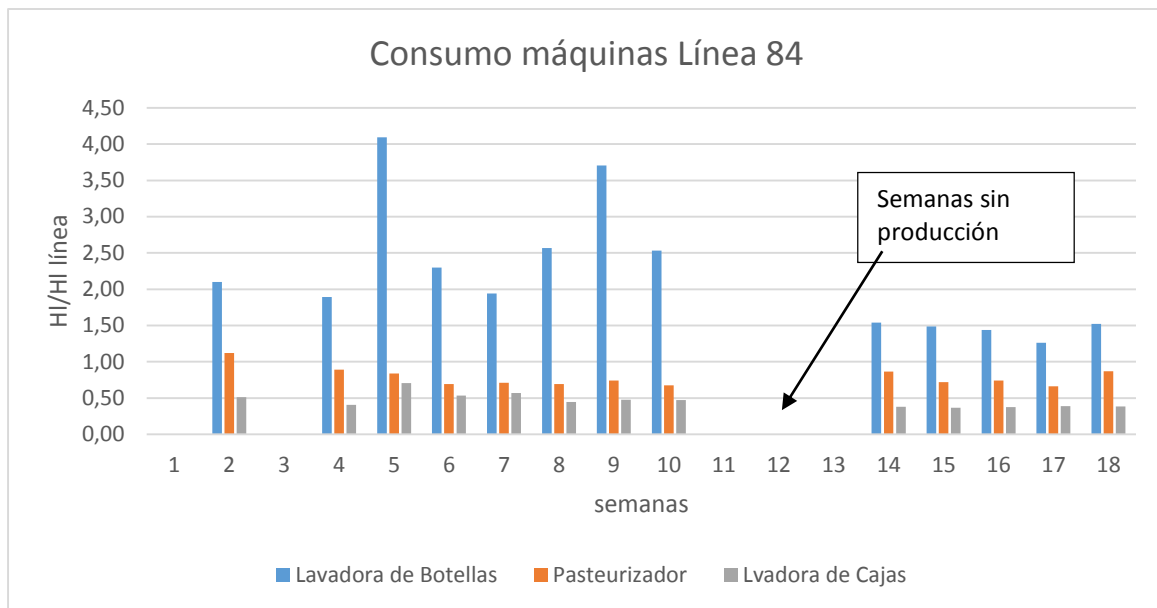


Gráfico 5.

Fuente: propia.

7.2 Principio de Funcionamiento y Restauración de Condiciones Iniciales.

El objetivo de esta máquina es el de someter a un tratamiento térmico de destrucción de los posibles microorganismos existentes a los recipientes de envasado que, en este caso, serán las botellas de cerveza.

Esto lo logra mediante la pasteurización, cuya función es el ataque a los agentes patógenos presentes en el objeto a pasteurizar, la cerveza. De este modo, la flora banal será eliminada consiguiéndose así un producto sano e higiénico.

Es, por tanto, un proceso de esterilización hidráulica a alta temperatura, la cual será determinada en función del objetivo que quiera obtenerse en cada caso concreto, y dará como fruto una calidad óptima en el producto final.

Nuestro caso es el de un Pasteurizador de túnel:

PASTER TÚNEL

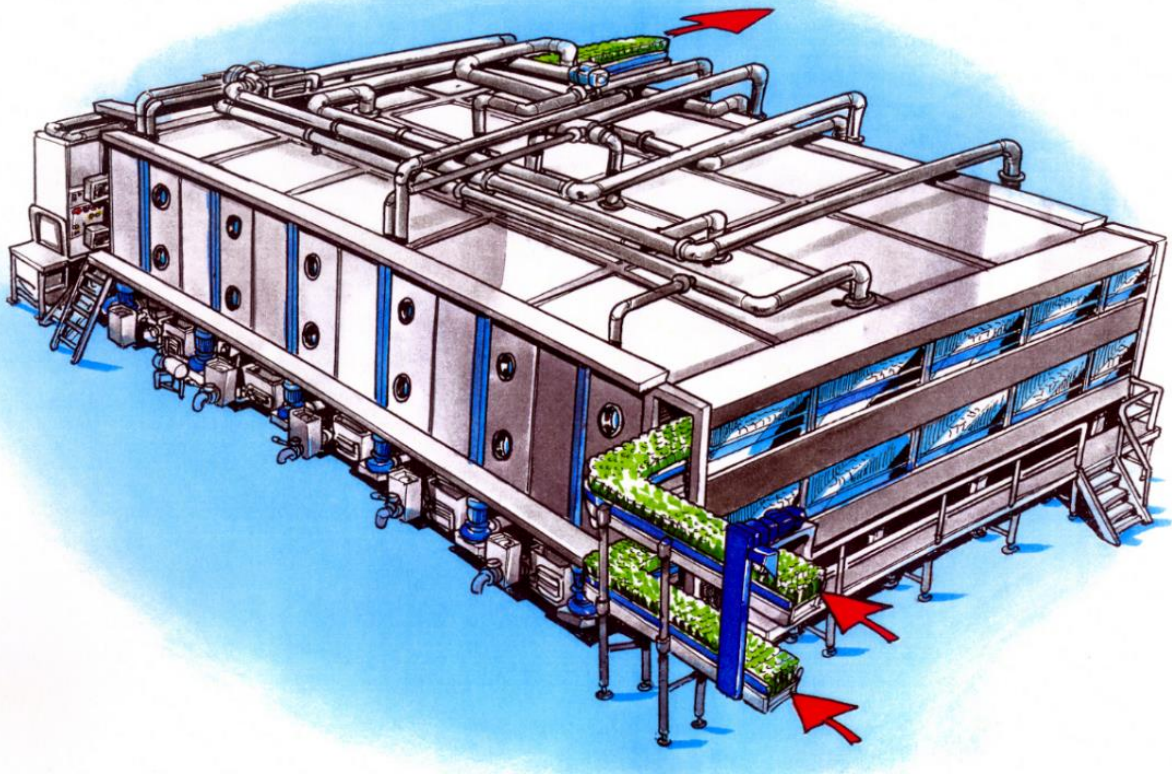


Imagen 9.

Fuente: Heineken España.

La máquina consta de tres partes asociadas cada una de ellas a tres fases del proceso de pasteurización: una zona-fase de calentamiento, otra de pasteurización propiamente dicha, y una última de enfriamiento, colocada en ese orden.

En su conjunto, resulta un túnel de lavado en el que, básicamente, las botellas son introducidas por uno de los extremos y, gracias a la propia presión que ejercen unas con otras y al movimiento de la cinta transportadora que encontramos bajo ellas y cuya cadena debe su tracción a un motorreductor montado directamente sobre el eje de tracción de la misma, sin transmisiones intermedias, las botellas van avanzando y pasando así por las 3 fases consecutivas.

En cuanto al macrofuncionamiento del proceso de la máquina, a grandes rasgos, encontramos los tres primeros baños de calentamiento, asociados al primer bloque, en el que, mediante irrigación a templada-alta temperatura, se irán calentando las botellas, progresivamente para evitar daños en el material.

Los dos baños intermedios, donde se lleva a cabo el proceso de la pasteurización, es la parte más importante del proceso. Las botellas llegan de los tres baños de calentamiento sin tener todavía las condiciones necesarias para conseguir las unidades de pasteurización que se requieren. Es en el baño de pre-pasteurización donde se les confiere estas condiciones de temperatura deseadas. Este baño siempre es el más caliente respecto a temperatura. Posteriormente las botellas llenas de cerveza pasan al baño de pasteurización donde se les mantendrá a una temperatura constante durante aproximadamente 6 minutos con el fin de conseguir las unidades de pasteurización necesarias para su consumo.

Cabe destacar que, existen dos programas distintos de funcionamiento del pasteurizador. Estos dos modos dependen del tipo de cerveza que se está produciendo en cada momento. Por un lado, cerveza con alcohol y por otro lado cerveza sin alcohol. El proceso es exactamente el mismo diferenciándose en las unidades de pasteurización que se buscan con uno u otro tipo de cerveza, es decir, la curva de temperatura que sufre el envase es ligeramente distinta. A efectos de cálculo las variaciones térmicas son prácticamente despreciables puesto que variar tres grados la temperatura no es un gran salto energético, sin embargo si es un gran salto en el número de unidades de pasteurización que se consiguen.

Diagrama para cerveza con alcohol 15 UP's

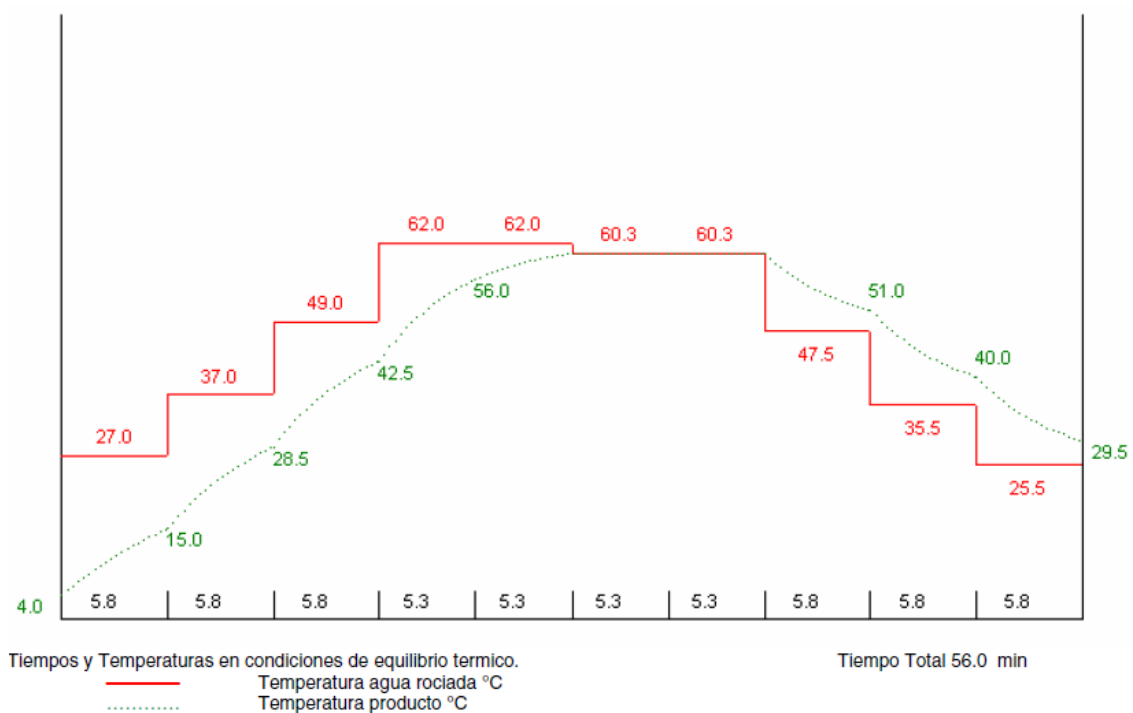


Imagen 10.

Fuente: manual de Sidel Simonacci.

Diagrama para cerveza sin alcohol 50 UP's

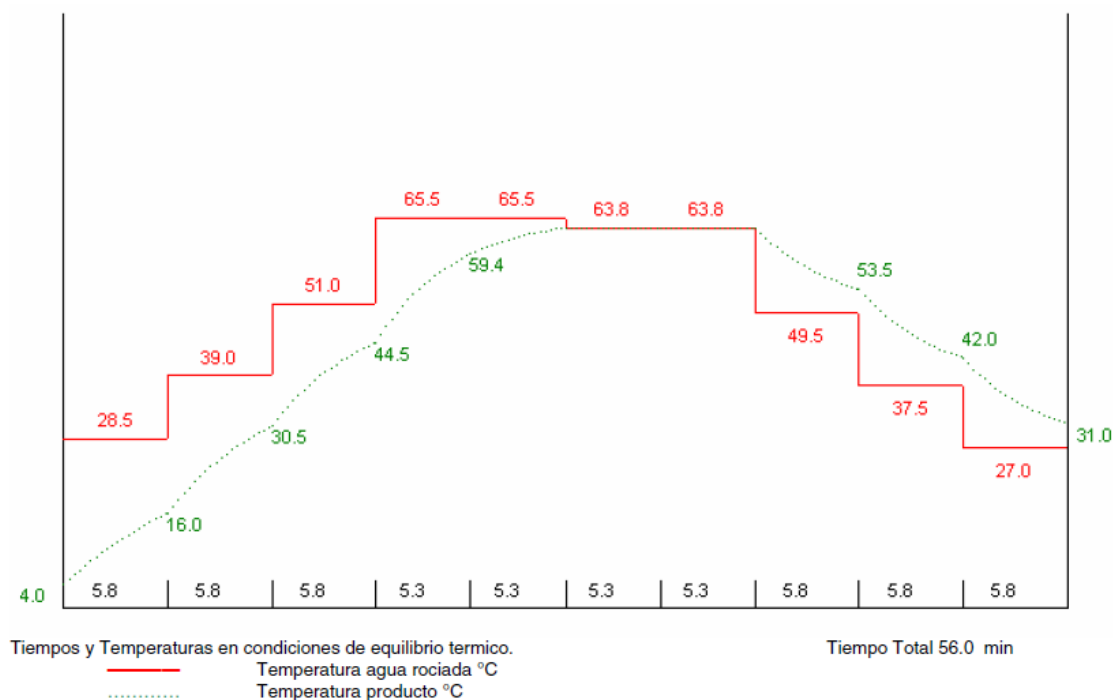


Imagen 11.

Fuente: manual de Side Simonacci.

En último lugar, otros tres baños de enfriamiento, cuyo objetivo es el de ir disminuyendo la temperatura, una vez más mediante irrigación, hasta que la temperatura de las botellas sea similar a la que encontrará al entrar en contacto con la temperatura exterior. Esto es así ya que un choque térmico en la botella de más de 25°C podría hacer que ésta estallase.

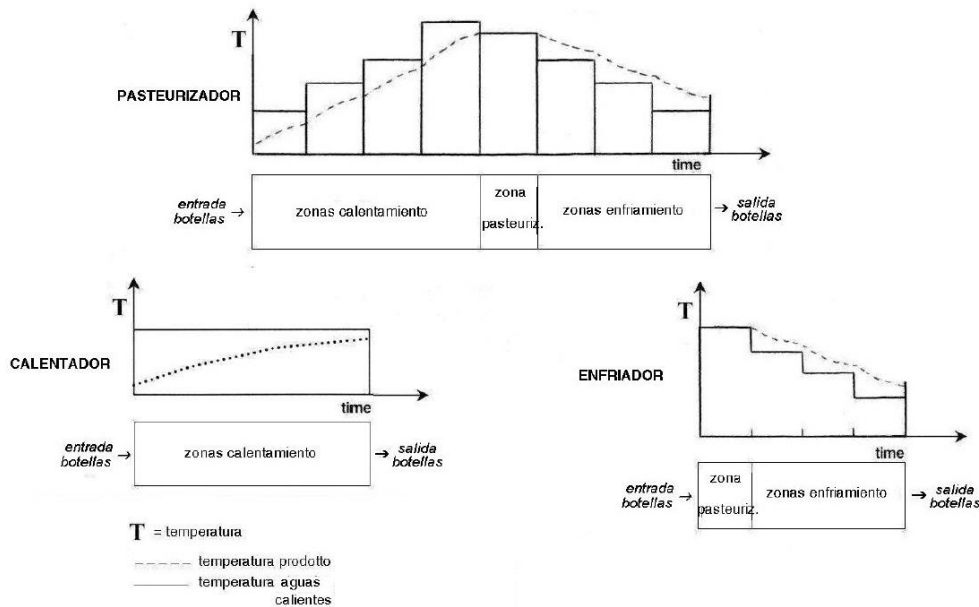


Imagen 12.

Fuente: manual de Sidel Simonacci.

Es interesante saber que, si alguna de las partes falla o surge algún inconveniente, la máquina, automáticamente, se parará regulando y templando la temperatura (calentando o enfriando según la fase en la que se halle) para evitar choques térmicos que puedan ocasionar daños en los envases, y se volverá a poner en marcha, reanudando nuevamente la producción y volviendo a regular las temperaturas necesarias para el proceso. Estas regulaciones de temperatura se realizan añadiendo agua fría directamente de la red y cerrando el suministro de vapor que llega a los intercambiadores.

De igual manera, si, previamente a ingresar los envases en el pasteurizador, en la línea hay algún tipo de parada, la máquina misma detiene las fases de prepasteurización y pasteurización para no “sobrepasteurizar” el producto, evitando así que este se degrade.

Desde el punto de vista tecnológico, el pasteurizador tiene dos entradas de fluidos principalmente.

- **El sistema de agua:** una entrada controlada por una válvula automática que abre cuando las sondas de nivel de los distintos baños se lo requieren. Una vez en el baño el agua pasa por un intercambiador de calor que regula su temperatura en función del baño en que se encuentre y de las necesidades de la producción.

A fin de mantener un equilibrio térmico entre baños opuestos, cada baño está conectado hidráulicamente con su homónimo, es decir, el primer baño de

calentamiento está conectado con tercer baño de enfriamiento, el segundo de calentamiento con el segundo de enfriamiento y así sucesivamente. Esta conexión se hace a través de unas bombas centrífugas que cogen el agua de los baños previo paso por un filtro de malla y lo envían a los rociadores del baño opuesto de esta manera el agua de los baños está en constante recirculación.

El agua que inyectan los rociadores sobre las botellas se deposita en los baños de nuevo cerrando así el ciclo del agua dentro de la máquina.

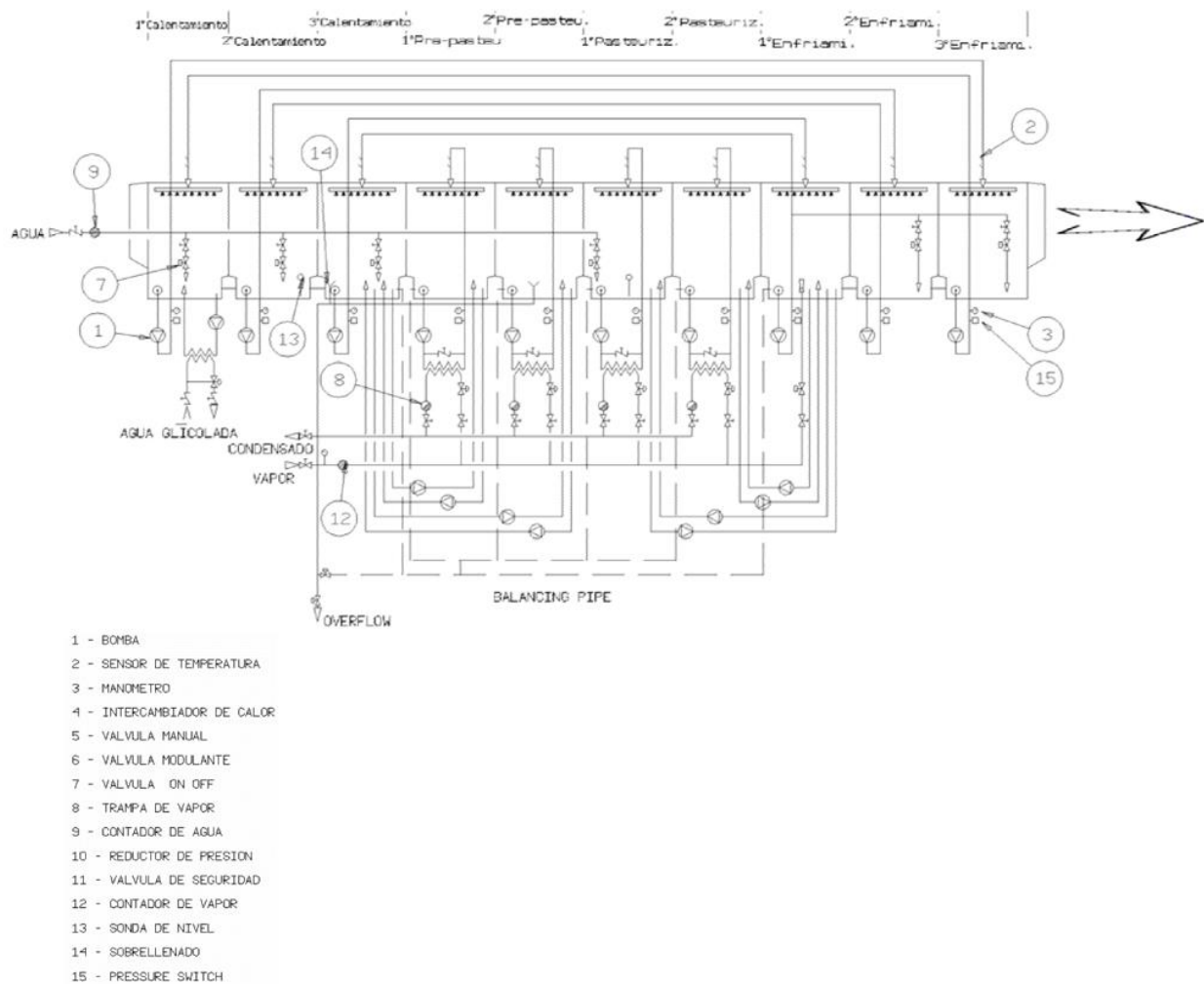


Imagen 13.

Fuente: manual de Sidel Simonacci.

- **El sistema de vapor:** El vapor es enviado a todas las máquinas que lo requieren de envasado desde las calderas situadas en otra localización dentro de la fábrica. El vapor enviado desde calderas es vapor saturado sobrecalentado a 8 bares y alrededor de 180°C.

En la entrada de vapor del pasteurizador tenemos una válvula reguladora de presión que limita la presión de entrada a 4 bares y un filtro para evitar partículas de suciedad que puedan dificultar la transferencia de calor en los intercambiadores.

El vapor entra a 4 bares y se distribuye por los intercambiadores de calor tubulares situados en los baños para calentar el agua por medio de válvulas moduladoras automáticas capaces de regular la apertura de la válvula todo el rango desde 0% hasta 100%. A la salida de los intercambiadores como resultado de la cesión de calor al agua, obtenemos condensado que posteriormente pasará por un purgador que reducirá su presión a 1 bar además de bajarle un poco la temperatura al condensado convirtiéndolo así en condensado subenfriado a 90°C.

Todo este condensado es almacenado en un tanque presurizado a 1 bar para ser de nuevo enviado a las calderas por medio de otra bomba centrífuga y comenzar de nuevo el ciclo.

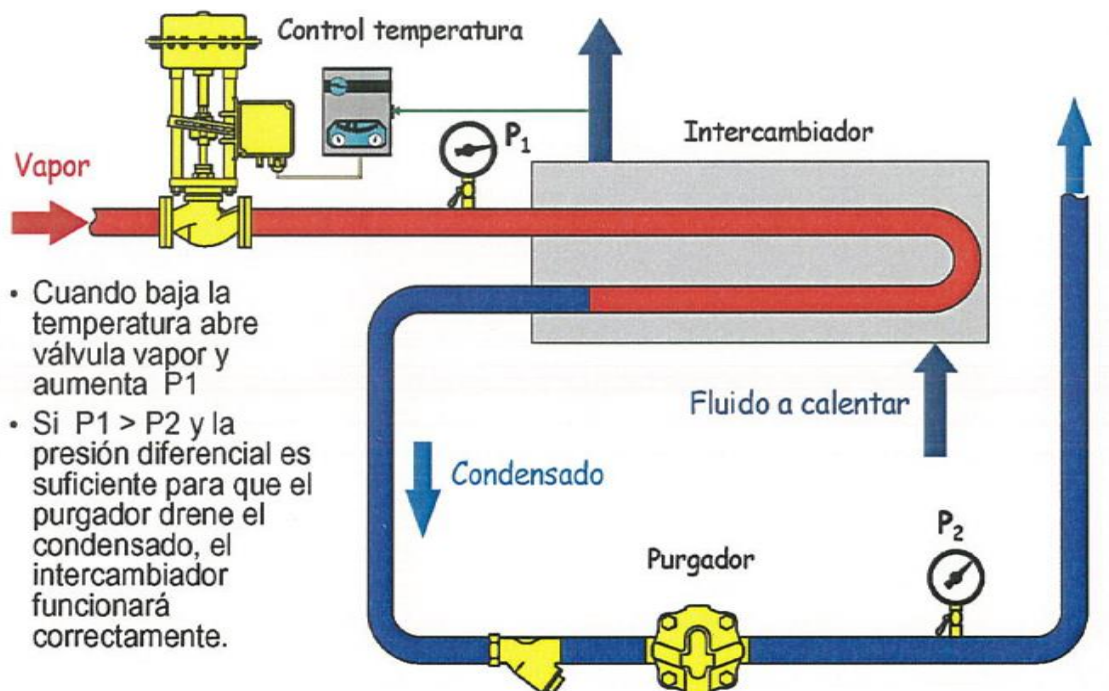


Imagen 14.

Fuente: Heineken España.

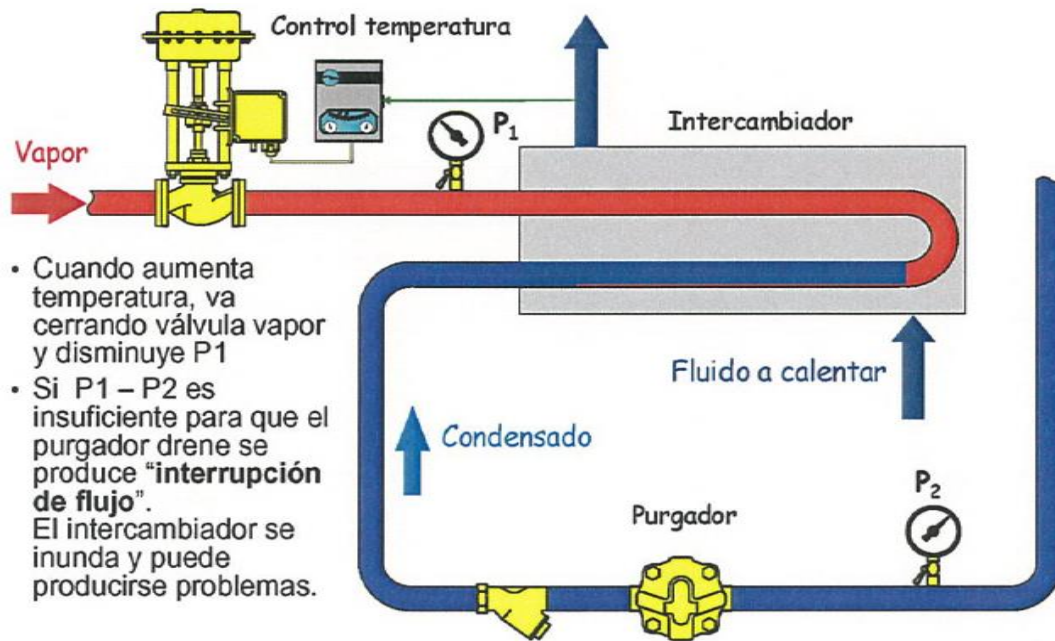


Imagen 15.

Fuente: Heineken España.

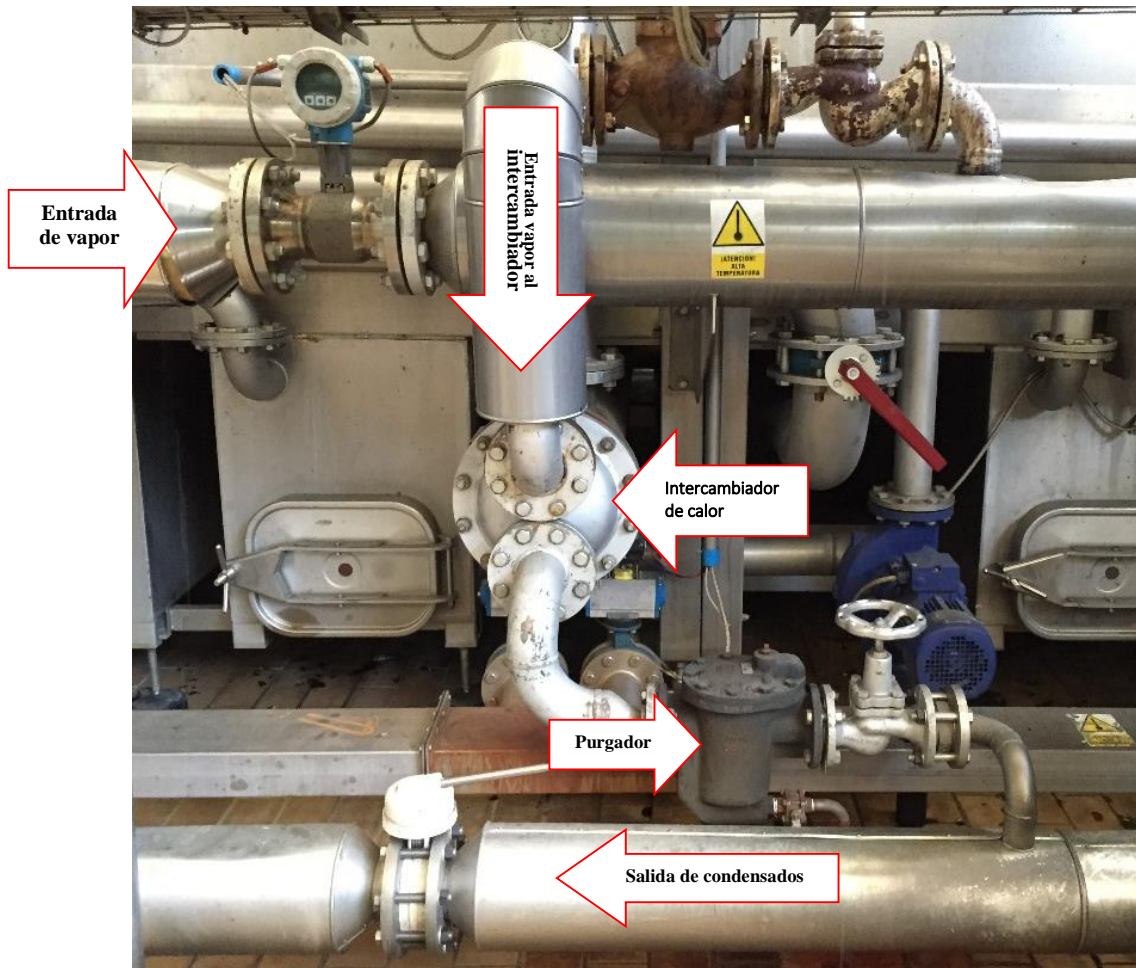
Válvula reguladora de entrada de vapor al intercambiador:



Fotografía 1.

Fuente: propia.

Instalación de vapor:



Fotografía 2.

Fuente: propia

Sabiendo esto, se emplearán las UP (Unidad de Pasteurización) como unidad de medida, obteniéndose 1 UP al mantener la cerveza en este caso a 60°C durante 1 minuto

Rango de Control de pasteurización:

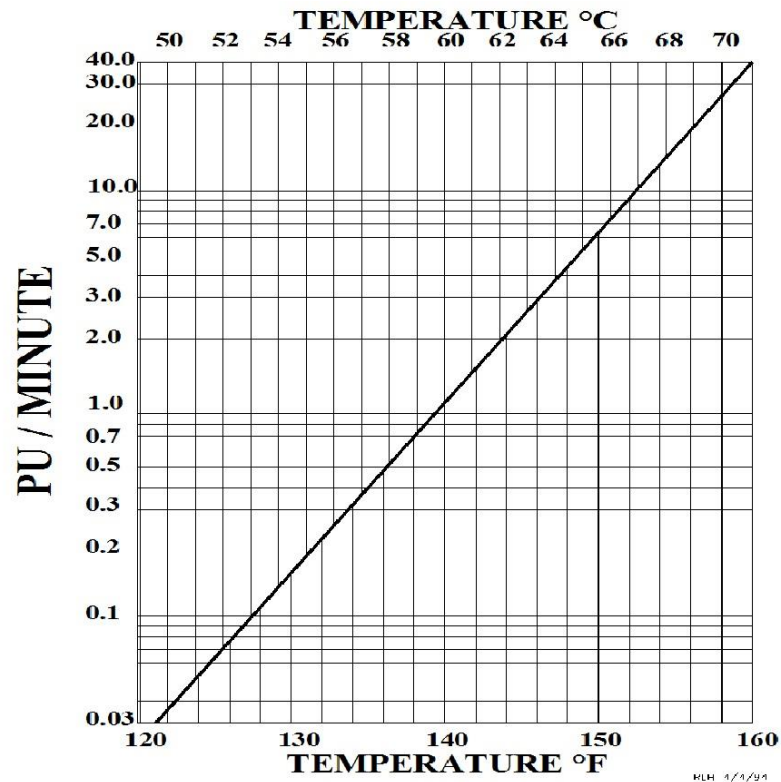


Gráfico 6.

Fuente: Heineken España.

Deben, por supuesto, tenerse también en cuenta los problemas a los que puede verse enfrentada esta máquina, siendo los contratiempos más habituales la falta de agua en alguno de los baños y la baja o alta temperatura en cualquiera de ellos.

Algunos de los síntomas que pueden alertarnos de un inminente fallo son: el rebose de algún baño, lo cual puede deberse bien a una válvula automática que falla y se queda abierta, o bien una válvula manual que también queda abierta; la pérdida de alguno de los tapones en los colectores de inyección.

7.3 Balance energético del pasteurizador.

Suponiendo condiciones de operación ideales en las que la temperatura de la nave es constante y las pérdidas de carga que se producen en la instalación son despreciables en comparación con los datos con los que trabajamos.

La energía que tengo que suministrar al pasteurizador sabiendo que para calentar el agua fría que entra a 17°C utilizo vapor saturado sobrecalentado a una presión de 4 bares procedentes de calderas a temperatura de unos 140°C y que obtengo un condensado a alrededor de 100°C y 1 bar de presión gracias a los diversos purgadores que tengo a la salida del sistema de vapor y que luego almacenaré en un tanque de condensados a un bar para ser devueltos a las calderas. Por medio de un balance de energía obtenemos:

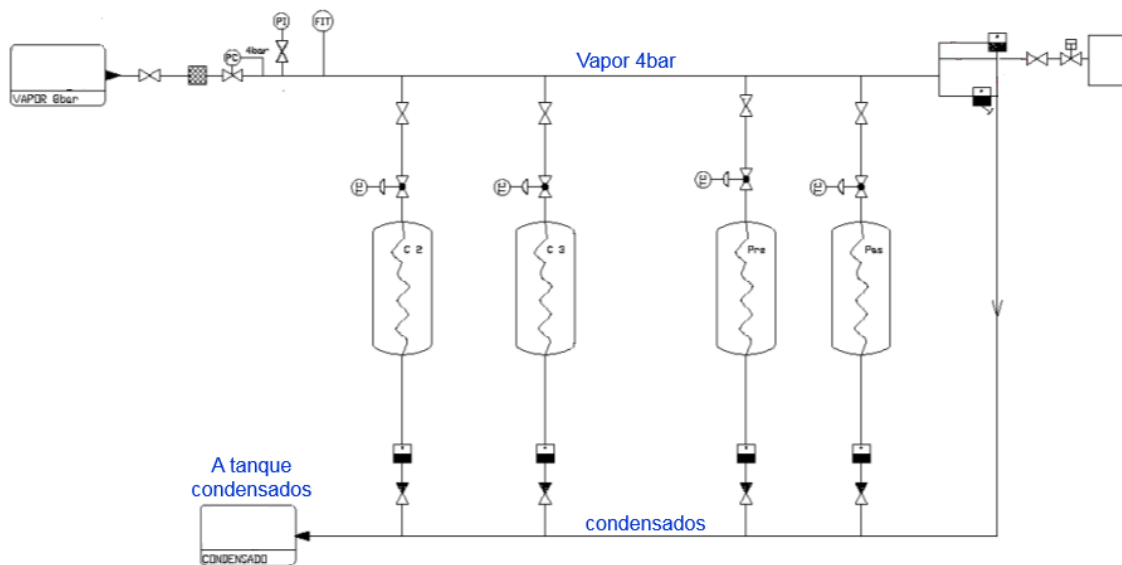


Imagen 16.

Fuente: Heineken España.

Ecuación [1]:

$$\frac{\partial E_{vc}}{\partial t} = \dot{Q} - \{\dot{W}_{eje} + \dot{W}_{\Delta V}\} + \sum_e \dot{m}_e \cdot \left(h_e + \frac{1}{2} v_e^2 + g z_e \right) - \sum_s \dot{m}_s \cdot \left(h_s + \frac{1}{2} v_s^2 + g z_s \right)$$

Siendo:

$$\frac{\partial E_{vc}}{\partial t} = 0 \text{ Porque nuestro sistema es estacionario en el tiempo.}$$

$$\dot{W}_{\Delta V} = p \cdot \frac{\partial V_{vc}}{\partial t} = 0 \text{ Porque no tenemos variaciones de volumen.}$$

$$\dot{W}_{eje} = 0 \text{ No tenemos eje al que transmitir potencia.}$$

$$\frac{1}{2} v^2 = gz = \text{despreciable}$$

Considerando la transferencia de calor desde el vapor (lado caliente) al agua (lado frío), es decir, el calor negativo en la ecuación [1]. Obtenemos:

Ecuación [2]:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot (h_e - h_s)$$

El valor del gasto másico de vapor es conocido gracias al contador instalado en la entrada de vapor de la máquina. No obstante el valor en condiciones de equilibrio de la instalación nos lo proporciona el fabricante:

	Producción:	Tiempo de tratamiento:	U.P. en equilibrio termico:
Ficha n. 2007-3291	80000/h	56.0 min.	50

Max. calor puesta en marcha:	6.471.000 kCal/h
Max. vapor puesta en marcha:	3.091 kCal/h
Calor en equilibrio termico:	2.914.000 kCal/h
Vapor en equilibrio termico:	200 kg/h
Agua en equilibrio termico:	2.0 mc/h
Aire:	1.0 Nmc/h

2.7 DATOS DE ALIMENTACION

Agua a :	2 bar 17 C°
Aire a :	6 bar
Vapor saturado a :	4 bar
Salida condensado pres:	0,5 bar

Imagen 17.

Fuente: Manual de Sidel Simonacci.

Utilizando un diagrama P-h o diagrama de Mollier podemos obtener el valor de las entalpías.

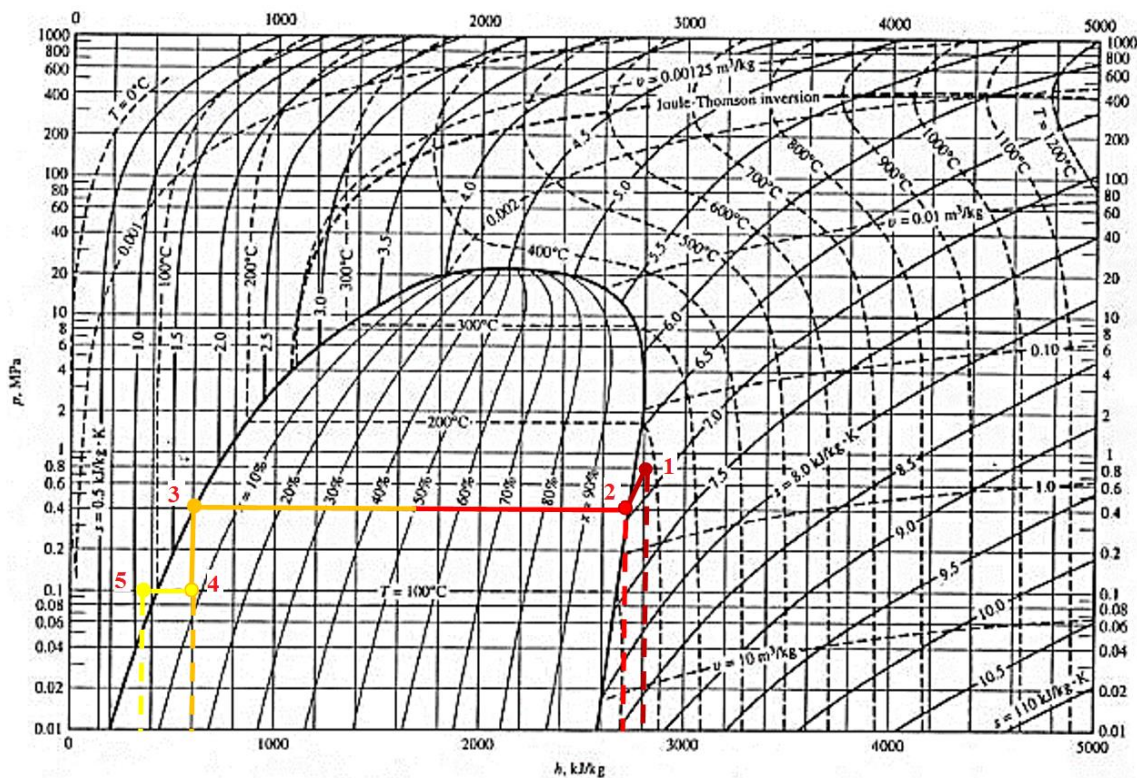


Gráfico 7.

Fuente: 4shared, online.

1. Vapor procedente de las calderas a 8 bares de presión y 180°C
2. Vapor a la entrada del pasteurizador después de pasar la válvula reguladora de presión. 4 bares y 140°C
3. Cambio de fase en los intercambiadores de calor cediendo la energía térmica al agua.
4. Salida de condensados del pasteurizador a 100°C y 1 bar al pasar por los purgadores.
5. Subenfriamiento del condensado pasado los purgadores en su camino hacia el tanque de almacenamiento de condensados.

CONSTANTES TERMODINÁMICAS DEL VAPOR DE AGUA HÚMEDO

Presión sat. bars	Temp. sat. °C	Volumen v' (dm³/Kg)	Volumen v'' (dm³/Kg)	Entalpía i' (kJ/Kg)	Entalpía i'' (kJ/Kg)	Entalpía i _{l-v} (kJ/Kg)	Entropía s' (kJ/Kg.°K)	Entropía s'' (kJ/Kg.°K)	Entropía Δs (kJ/Kg.°K)
0,9430	98,00	1,0419	1789,30	410,6	2672,6	2262,0	1,284	7,379	6,095
1,0000	99,63	1,0432	1693,70	417,5	2675,2	2257,7	1,303	7,359	6,056
1,0132	100,00	1,0435	1673,00	419,1	2675,8	2256,7	1,308	7,355	6,048
1,2000	104,81	1,0472	1428,20	439,4	2683,3	2244,0	1,361	7,298	5,937
1,2080	105,00	1,0474	1419,40	440,2	2683,6	2243,5	1,363	7,296	5,933
1,4000	109,32	1,0509	1236,50	458,4	2690,3	2231,9	1,411	7,246	5,835
1,4326	110,00	1,0515	1210,10	461,3	2691,3	2230,0	1,419	7,239	5,820
1,6000	113,32	1,0543	1091,30	475,4	2696,4	2221,0	1,455	7,202	5,747
1,6905	115,00	1,0558	1036,50	482,5	2698,9	2216,4	1,473	7,183	5,710
1,8000	116,93	1,0575	977,39	490,7	2701,8	2211,1	1,494	7,163	5,668
1,9853	120,00	1,0603	891,71	503,7	2706,3	2202,5	1,528	7,130	5,602
2,0000	120,23	1,0605	885,59	504,7	2706,6	2201,9	1,530	7,127	5,597
2,2000	123,27	1,0633	809,99	517,6	2711,0	2193,4	1,563	7,096	5,533
2,3209	125,00	1,0649	770,43	525,0	2713,5	2188,5	1,581	7,078	5,497
2,4000	126,09	1,0659	746,60	529,6	2715,0	2185,4	1,593	7,067	5,474
2,6000	128,73	1,0685	692,66	540,9	2718,7	2177,8	1,621	7,040	5,419
2,7012	130,00	1,0697	668,32	546,3	2720,5	2174,2	1,634	7,027	5,393
2,8000	131,21	1,0709	646,19	551,5	2722,2	2170,7	1,647	7,015	5,368
3,0000	133,54	1,0732	605,72	561,4	2725,4	2163,9	1,672	6,992	5,321
3,1305	135,00	1,0747	582,00	567,7	2727,3	2159,7	1,687	6,978	5,291
3,5000	138,88	1,0786	524,14	584,3	2732,5	2148,2	1,727	6,941	5,214
3,6136	140,00	1,0798	508,66	589,1	2733,9	2144,8	1,739	6,930	5,191
4,0000	143,63	1,0836	462,35	604,7	2738,6	2133,9	1,776	6,897	5,120
4,1549	145,00	1,0851	446,12	610,6	2740,4	2129,8	1,791	6,884	5,093
4,5000	147,92	1,0883	413,86	623,2	2744,0	2120,8	1,820	6,857	5,037
4,7597	150,00	1,0906	392,57	632,2	2746,5	2114,4	1,842	6,838	4,997
5,0000	151,85	1,0926	374,77	640,1	2748,7	2108,6	1,860	6,822	4,962
5,4331	155,00	1,0962	346,65	653,8	2752,5	2098,7	1,892	6,794	4,902
5,5000	155,47	1,0967	342,57	655,8	2753,0	2097,2	1,897	6,790	4,893
6,0000	158,84	1,1007	315,56	670,4	2756,8	2086,4	1,931	6,761	4,830
6,1805	160,00	1,1021	306,85	675,5	2758,1	2082,7	1,942	6,751	4,808
6,5000	161,99	1,1045	292,57	684,1	2760,3	2076,2	1,962	6,734	4,772
7,0000	164,96	1,1080	272,76	697,1	2763,5	2066,4	1,992	6,709	4,717
7,0076	165,00	1,1081	272,48	697,3	2763,5	2066,3	1,993	6,708	4,715
7,5000	167,76	1,1115	255,50	709,3	2766,4	2057,1	2,020	6,685	4,665
7,9203	170,00	1,1144	242,62	719,1	2768,7	2049,6	2,042	6,667	4,625
8,0000	170,41	1,1149	240,32	720,9	2769,1	2048,2	2,046	6,663	4,617
8,5000	172,94	1,1181	226,88	732,0	2771,5	2039,5	2,070	6,643	4,573
8,9247	175,00	1,1208	216,60	741,1	2773,5	2032,4	2,091	6,626	4,535
9,0000	175,36	1,1213	214,87	742,6	2773,8	2031,2	2,094	6,623	4,529

Tabla 2.

Fuente: Fundamentos de Termodinámica Técnica. Michael J.Moran/ Howard N. Shapiro

De la parte de cambio de fase vapor-liquido obtenemos el calor latente:

$$\dot{Q}_{L-v} = 200 \frac{kg}{h} \cdot (2738,6 - 604,7) \frac{kJ}{kg} = 426780 \frac{kJ}{h} = 426,78 \frac{MJ}{h}$$

De la parte de subenfriamiento en fase liquida:

Ecuación [3]:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p (T_3 - T_4)$$

$$\dot{Q}_L = 200 \frac{kg}{h} \cdot 4,18 \frac{kJ}{kg K} (413 - 363) = 41800 \frac{kJ}{h} = 41,8 \frac{MJ}{h}$$

$$\dot{Q}_{Total} = \dot{Q}_{L-v} + \dot{Q}_L = 426,78 + 41,8 = 468,58 \frac{MJ}{h}$$

Esta es la energía térmica que se necesita para mantener la curva de calentamiento en condiciones ideales. Con un consumo de agua de $2 m^3/h$.

7.4 Restaurar condiciones iniciales.

Lo primero que hay que hacer para poder determinar los problemas que tiene el pasteurizador y poder hacer un buen análisis de estos problemas es restaurar las condiciones iniciales de la máquina, es decir, solucionar aquellas averías o anomalías por las cuales la toma de datos puede estar distorsionada o puede no ser todo lo exacta que se requiere.

Lista de fallos encontrados en el área del pasteurizador:

Elenco Cartellini

Nr.	Data Creazione	Tipo:	Priorità:	Macchina	Descrizione	Pianificato II Note Pianificazione	Assegnato A: Azienda Estema
Envasado - LINEA 84 - RETORNABLE							
17.331	30/01/2014	Otros	Baja	PASTEURIZADOR DE BOTELLAS	Fuga de jaboncillo en la via inferior de la salida	30/01/2014 -	Iker Asolo
19.633	24/09/2014	Otros	Baja	PASTEURIZADOR DE BOTELLAS	Fuga contador condensidad	24/09/2014 Cambiar contador	Iker Asolo
20.360	06/02/2015	Piezas Dañadas	Normal	PASTEURIZADOR DE BOTELLAS Peines salida en mal estado, se caen botellas	Cambiar peines, hay muchos partidos.	06/02/2015 Cambiar los peines que esten en peor estado, hay 20 peines de repuesto, los que falten pedir para cambiar en reparacion general.	Antonio Lobo Semace
21.566	14/07/2015	Agua	Alta	PASTEURIZADOR DE BOTELLAS	Válvula automatica de entrada al primer baño de calentamiento no cierra bien. Puede que el asiento esté mal.	14/07/2015 Revisar y reparar, ver si en el almacen hay repuesto o Kit de reparacion.	David Lajara Garcia
21.574	15/07/2015	Agua	Alta	PASTEURIZADOR DE BOTELLAS TANQUE DE CONDENSADOS	FUGA EN LA VALVULA REGULADORA A LA SALIDA DEL TANQUE DESPUES DEL CONTADOR	15/07/2015 -	Miguel Angel RodriguezGo

Tabla 3.

Fuente: Simec. Heineken España

Válvula de entrada de agua constantemente abierta por deterioro del asiento de la junta.



Fotografía 3. Fuente: propia.



Fotografía 4 Fuente: propia.

Filtro auto-limpiantes anteriores a la aspiración de la bomba situados en los baños obstruido por rotura del eje que mueve la malla filtrante.

Suciedad en el interior del pasteurizador.



Fotografía 5.

Fuente: propia

7.5 Análisis de la causa raíz.

Pasamos a analizar los principales fallos por los que el pasteurizador puede tener un consumo elevado:

1. Rebose excesivo de los baños.

Si alguno de los distintos reboses que tiene el pasteurizador se encuentra expulsando agua entonces nos encontramos en una situación de exceso de consumo y es un claro aviso de que algo no está funcionando correctamente.



Fotografía 6.

Fuente: propia



Fotografía 7:

Fuente: propia

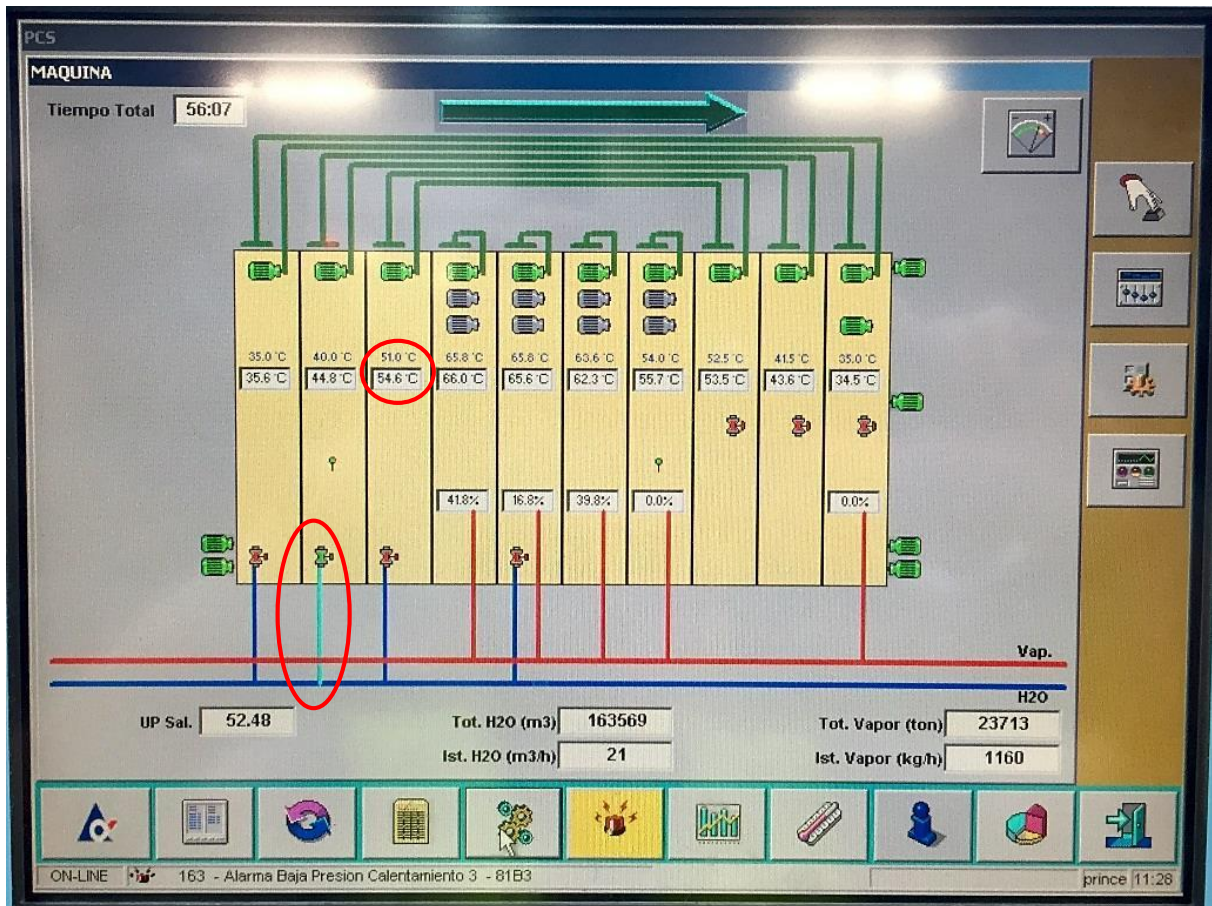
Para poder llegar a la causa o posibles causas del problema de rebose haremos un análisis de 5 porqués:

Modo de fallo/pérdida	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	AM	Acción
Rebose excesivo de baños	Tª de los baños no es la adecuada	si.	Trasvase de agua entre baños	si.	Coletores fugando	no							
				si.	Inyectores mal orientados	si.	Se colocaron mal en la última limpieza	si.	No existe estándar claro	si.		método	1. Colocar correctamente los inyectores. 2. Crear estándar claro de colocación de inyectores
		si.	Inyectores obstruidos	si.	No les llega agua	si.	bomba de impulsión rota	no					
						si.	Bomba no está aspirando agua	si.	Filtro autolimpiable roto	si.	Roto por uso y no tenía revisión	método	3. Crear orden de mantenimiento preventivo

Tabla 4.

Fuente: propia.

En la fotografía del interface de procesos de la maquina tomada durante la realización del análisis podemos ver como el baño 2 de calentamiento tiene una temperatura superior a la que establece el SET POINT (punto crítico) del programa en que se trabaja y como a consecuencia de esto, la válvula de entrada de agua fría directa al baño está abierta para conseguir enfriar dicho baño con el consecuente consumo de agua.



Fotografía 8.

Fuente: propia

Esto es debido a que la bomba que tenía que impulsar el agua del baño a los inyectores no lo estaba haciendo. La bomba se encontraba aspirando en vacío, no le llegaba fluido. La causa era la colmatación del filtro anterior a la bomba por suciedad. El filtro es auto-limpiante y el sistema que utiliza es una malla que va girando por la acción de un pequeño eje conectado a un motor. De esta manera el filtro recoge la suciedad y cuando llega a determinada posición la deposita evitando así quedar obstruido. El problema por el cual la bomba estaba aspirando en vacío fue la rotura de este sistema auto-limpiante, el eje había dejado de girar y el filtro se había colmatado.



Fotografía 9.

Fuente: propia



Fotografía 10.

Fuente: propia

A continuación se muestran las imágenes de la incorrecta disposición de las barras inyectoras y la obstrucción de alguno de estos inyectoros:



Fotografía 11.

Fuente: propia



Fotografía 12:

Fuente: propia

Este modo de fallo por el cual el consumo de agua se dispara a los $3.69 \text{ m}^3/\text{h}$ y el consumo de vapor a los $308 \text{ kg}/\text{h}$ (semana 24). Provoca un aumento de la energía térmica que tengo que suministrar al pasteurizador de:

$$\dot{Q}_{L-v} = 308 \text{ kg}/\text{h} \cdot (2738,6 - 604,7) \text{ kJ}/\text{kg} = 657241,2 \text{ kJ}/\text{h} = 657,24 \text{ MJ}/\text{h}$$

$$\dot{Q}_L = 308 \text{ kg}/\text{h} \cdot 4,18 \text{ kJ}/\text{kg K} (413 - 363) = 64372 \text{ kJ}/\text{h} = 64,37 \text{ MJ}/\text{h}$$

$$\dot{Q}_{Total} = \dot{Q}_{L-v} + \dot{Q}_L = 657,24 + 64,37 = 721,61 \text{ MJ}/\text{h}$$

Hay que tener en cuenta las pérdidas de energía y agua que se llevan las botellas a la salida del pasteurizador, ya que las botellas salen calientes, a unos 35°C y mojadas. Esa energía térmica y esa capa de agua sobre las botellas son pérdidas que el sistema tiene que asumir con la inyección de vapor en los intercambiadores y el gasto de agua para equilibrar temperaturas. Estimamos que un 15% de la energía térmica que empleamos en el pasteurizador se pierde por convección en las botellas que salen de la máquina, y por pérdidas debidas a convección y radiación en el sistema de tuberías.

$$Q_{p\acute{e}rdidas} = 108,24 \text{ MJ/h}$$

$$Q_{Total} = 613,37 \text{ MJ/h}$$

Un 30,9% más de consumo energético debido a este modo de fallo.

2. Rebose en tanque de condensados.

Modo de fallo/pérdida	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	AM	Acción
Rebose de condensados en el tanque	Bomba de impulsión parada	2.	Bomba rota	no								
	Válvulas manuales de salida del tanque cerradas	2.	Selector en posición 0 (OFF)	2.	Nadie lo ha puesto en marcha	2.	Operarios desconocen la instalación	2.	Falta estándar de comprobación	2.	Método	1.Crear procedimiento de puesta en marcha de bomba y formación de operarios

Tabla 5.

Fuente: propia

Con el rebose del tanque de condensados perdemos una cantidad de litros de agua enorme que podríamos haber devuelto a las calderas para ser reutilizados en el ciclo de vapor de la fábrica.

Además, como esta agua que tiramos al sumidero está caliente, la pérdida en energía térmica que hemos utilizado para calentarla se pierde también y con ella todo el gasto económico que conlleva en agua, gas en las calderas y electricidad.

Cada metro cúbico de agua perdida cuesta 1,46€ según datos del Canal de Isabel II para usos industriales. 0.083 €/kW de energía eléctrica y 0.01046 €/kg de gas.

7.6 implementación de medidas y seguimiento.

Los resultados obtenidos tras la realización de las medidas adoptadas son:

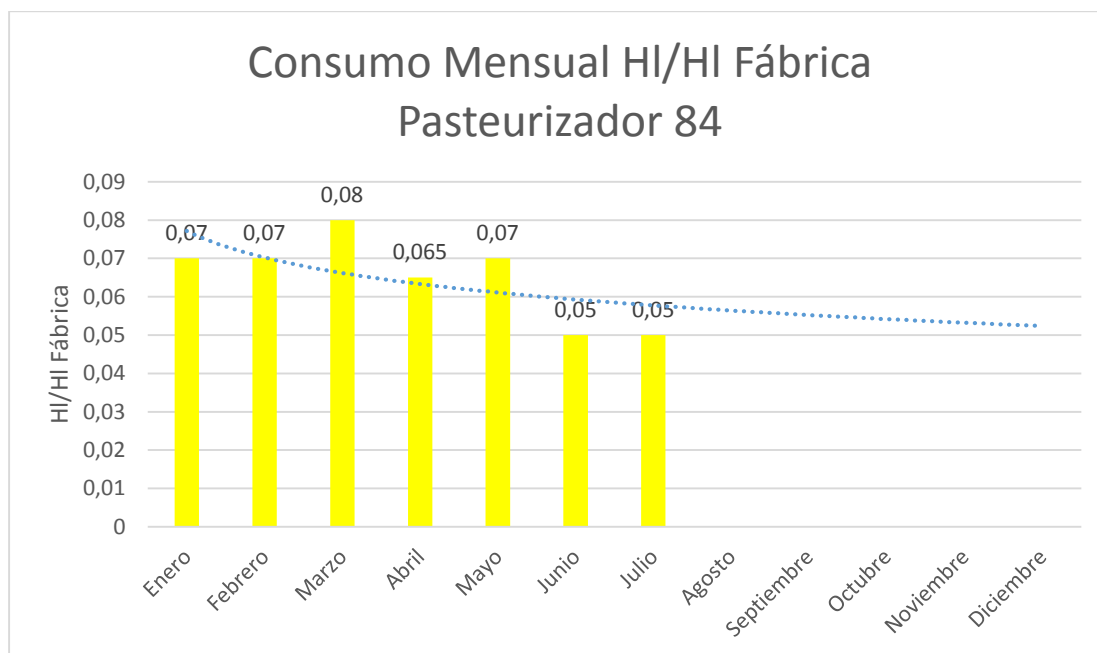


Gráfico 8.

Fuente: propia.

Ratios semanales de consumo durante las semanas de realización del análisis:

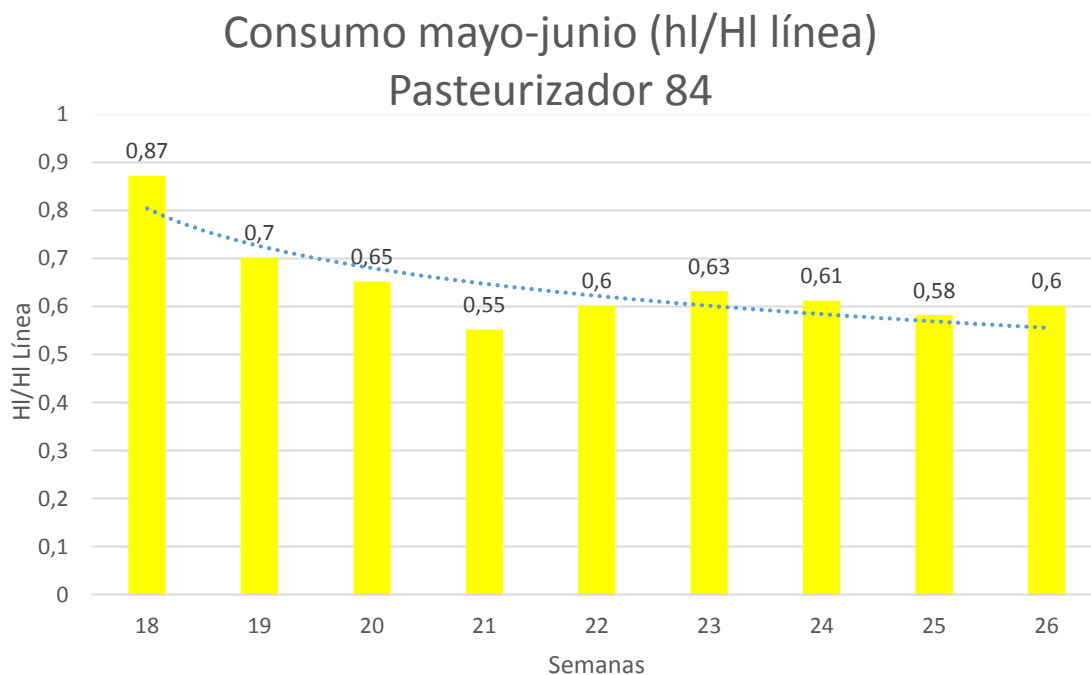


Gráfico 9.

Fuente: propia.

En conclusión, tras la realización de los análisis de 5 porqués y el estudio previo de fallos y averías para restaurar las condiciones iniciales de la máquina. Se ha llegado a la implementación de las siguientes medidas:

1. Estándar de revisión de correcta posición de válvulas.
2. Creación de la orden de mantenimiento preventivo de revisión de filtros auto-limpiables.
3. Colocación correcta de barras inyectoras y deflectores.
4. Creación de estándar SOP de colocación de barras inyectoras.
5. Procedimiento SOP para evitar el rebose del tanque de condensados

7.7 Estandarización.

Estándar de revisión de válvulas:





CONSUMOS DE AGUA Y ENERGIA EN ENVASADO. CLUSTER RETORNABLE											
DIARIO	Comprobar: Correcto (C) Incorr (I)		Semana:		Nombre:						
SEMANAL											
Nº	MAQUINA	TAREA	CORRECTO	INCORR.	FREC.	CUANDO	RESULT.(C/I)				
9	Paster 84	Comprobar drenaje, rebose en funcionamiento normal	Sin Rebose o Mínimo	Excesivo Rebose	Diaño	Turno Día	L M X J V				
10	Paster 84	Comprobar válvula de la bomba de agua para frío	Abierta	Cerrada	Semanal	Lunes/Día			Válvula debe estar abierta		
11	Paster 84	Comprobar 4 válvulas de entrada de agua están estranguladas	Estranguladas	Abierta/cerrada	Semanal	Turno Día					

Tabla 6.

Fuente: propia.

Orden de mantenimiento preventivo:

CÓDIGO	MAQUINA	SISTEMA FUNCIONAL	TAREA	ANÁLISIS	PERIODICIDAD												RESPON SABLE	TIEMPO ESTIMADO	CANTIDAD DE PERSONAL	ESTADO DE LA INSTALACION	FECHA
					DIARIO	SEMANAL	QUINCENAL	MENSUAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	BIENAL	TRISIMESTRAL	TRISIMESTRAL	TRISIMESTRAL	TRISIMESTRAL					
MPM-3345	PASTEURIZADOR	GENERAL DE CONTROL	REVISAR POSIBLE ROTURA Y CALIBRACIÓN DE LAS SONDAS DE TEMPERATURA	ANÁLISIS DE SISTEMAS													ELECTRICISTA	4 HORAS	1	PARADO	OVERHAUL
MPM-3573	PASTEURIZADOR	FILTROS	REVISIÓN DE LOS MOTORES DE LAS MALLAS AUTOLIMPIANTES.	EXPERIENCIA													MECÁNICO	1HORA	1	PARADA	CALENDARIO

Tabla 7.

Fuente: propia.

OPL Colocación de barras inyectoras:

HEINEKEN		PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR	TPM Fábrica Madrid
COLOCACIÓN DE BARRAS DE INYECCIÓN PASTER L-84		Equipo : F172	
		Número : FI-ENV-L81-LLE-643	
		Puesto : Llenadora	
		Máquina : Paster	
Elaborado por : Iván Morales	Revisado por : David Gallego	Aprobado por : David Gallego	
<p>Realizar todas las actividades con los EPIS correspondientes Parar la máquina antes de acceder a ella Extremar las precauciones al subirse y bajarse a los baños por riesgo de caída, ayudarse de la escalera correspondiente</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">        </div>			
<p>OBJETIVO: Describir los pasos a seguir para realizar la correcta colocación de las barras de inyección del Paster de la L-84</p>			
<p>CONSIDERACIONES: Usar guantes en la manipulación de las barras para una buena sujeción y evitar cortes.</p> <div style="display: flex; justify-content: flex-end;">   </div>			
		<p>Pulsar seta de emergencia Para asegurarnos de que el Paster se encuentra parado durante la introducción de las barras</p>	
		<p>Abrir puerta del baño Para acceder al interior de los baños donde se encuentran situadas las barras</p>	
		<p>Subirse a la altura de los baños Para poder manipular las barras</p> <p>ATENCIÓN: para acceder a los baños ayudarse de la escalera para evitar riesgos de caídas</p>	
		<p>Colocar barra en su soporte</p> <p>ATENCIÓN: asegurarse que las barras están colocadas según el orden correcto, comprobando que el número escrito en el tapón es el mismo que el escrito en la pegatina colocada en el marco</p> <div style="display: flex; justify-content: flex-end;">  </div>	
		<p>Insertar el extremo interior de la barra en el colector hasta hacer contacto, asegurando que encaja perfectamente. Ayudarse de un martillo para meter las barras hasta el fondo en caso de ser necesario.</p> <p>Para evitar que se pierda agua en el interior de los baños y caiga sobre bañeras que nos correspondan provocando desajustes térmicos</p>	
		<p>Colocar pestaña de sujeción en el extremo exterior de la barra Para poder sujetar la barra al soporte</p> <div style="display: flex; justify-content: flex-end;">  </div>	
		<p>En el caso de que la barra esté pegada a una cortina, orientar el deflector hacia el interior de su baño, no de forma vertical</p> <p>Para evitar que el agua sea enviada a baños que no corresponden provocando desajustes térmicos</p>	
		<p>Cerrar puertas del baño Para evitar que se pierda agua durante el funcionamiento</p>	
		<p>Soltar seta de emergencia Para permitir el funcionamiento de la máquina</p>	

Imagen 18.

Fuente: propia.

OPL comprobaciones de tanque de condensados:

		PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTANDAR		TPM Fábrica Madrid	
TITULO	COMPROBACIONES A REALIZAR EN TANQUE DE CONDENSADOS SI REBOSA			Equipo : FI 47	
				Número : FI-ENV---270	
				Puesto: Llenadora	
				Máquina: Pasteurizadores	
Elaborado por : Iván Morales		Revisado por : David Gallego		Aprobado por : David Gallego	
<p>Realizar todas las comprobaciones con los EPIS correspondientes Extremar las precauciones al acercarse a las tuberías de vapor (riesgo de quemadura)</p> <div></div>					
OBJETIVO: Describir las comprobaciones a realizar en caso de detectar que el tanque de condensados rebosa. Aplica a las línea 81, 84 y 86					
CONSIDERACIONES: Si el tanque de condensados rebosa, el nivel alcanzado en el mismo será tan alto que impedirá el correcto flujo de los condensados del pasteur hacia en tanque, esto hará que la línea de condensados se llene y no se realice correctamente el intercambio de calor, por lo que el pasteur se acabará enfriando. El tanque de condensados tiene un bomba para su vaciado y envío de condensados al tanque de alimentación de calderas. Funciona en automático arrancando o parando según el nivel del tanque.					
		Comprobar en el panel de mandos de la bomba: 1. Selector de TENSIÓN debe estar en 1 ENCENDIDO 2. Selector de MODO debe estar en AUTOMÁTICO Para que la bomba arranque o pare en función del nivel del tanque			
		Comprobar que la BOMBA esta FUNCIONANDO			
		Comprobar que el CONTADOR posterior a la bomba AVANZA Está enviando condensados al tanque de alimentación de calderas			
		Comprobar que la VÁLVULA MANUAL encima del contador está ABIERTA Para que la bomba pueda enviar condensados al tanque de alimentación de calderas			
		Comprobar que la VÁLVULA MANUAL de salida del tanque está ABIERTA Para que pueda salir el condensado			
Si al realizar las comprobaciones descritas, no se encuentra nada incorrecto, se debe avisar al Jefe de Energía e iniciar un análisis de pérdidas RCFA para encontrar la causa del rebose y tomar medidas					

Imagen 19.

Fuente: propia

8. PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE AGUA DE ENVASADO.

Este proyecto consiste en la recuperación de las aguas que en estos momentos se están vertiendo en la alcantarilla en la planta de envasado de la fábrica de Madrid. El proceso va a consistir en recoger el agua que se pierde en los sumideros de las principales máquinas consumidoras y que previo análisis se ha comprobado que es agua reutilizable libre de sustancias altamente nocivas como ácidos o sosa, para posteriormente realizarle una serie de procesos que le devuelvan a unas condiciones ideales para su reutilización.

El estudio del proyecto empezó con el análisis de las principales máquinas consumidoras en las que no recuperamos el agua que empleamos para su funcionamiento.

En lo que a este proyecto de optimización de consumos en la línea 84 respecta. La recuperación se centra principalmente en dos máquinas en concreto, el pasteurizador y la lavadora de cajas. Estas dos máquinas necesitan un consumo de agua considerable para su correcto funcionamiento pero hasta ahora solo se está recuperando una parte muy pequeña de toda esa agua y lo que se plantea con la recuperación es aprovechar si no todo, la mayoría del consumo que tienen estas máquinas.

Para ello se canalizarán en el caso del pasteurizador a través de un deposito intermedio situado debajo del propio pasteurizador todo el agua de los reboses para ser llevado a un deposito grande de unos 50 m^3 donde confluirán todas las aguas de recuperación de envasado. Allí se le añadirá al agua un producto desinfectante para higienizar todo lo posible esta agua que hay que recordar que viene entre 75°C y 40°C y ya han sido utilizadas por las distintas máquinas de envasado.



Fotografía 13.

Fuente: propia



Fotografía 14.

Fuente: propia

El motivo de añadir un desinfectante es evitar brotes de salmonela en la etapa siguiente que es enfriar el agua en una torre de refrigeración hasta los 20°C.

Una vez refrigerada el caudal de agua pasará por la planta de ultrafiltración y ósmosis inversa para dejarla totalmente pura sin rastro de otras sustancias y todo lo estéril que permiten estos procesos.

Finalmente para evitar su futura contaminación se le añadirán cloro y otras sustancias correctoras de pH que permitan mantener el agua potable y lista para su uso. Previa a su envío de nuevo a las máquinas de la fábrica se almacenará en un tanque de 80 m³ donde se completará con un aporte de agua del canal de Isabel II para compensar las pérdidas de agua del proceso.

En total se pretende recuperar 0.45 hl/hl (hl de agua/ hl de cerveza producido en la fábrica) lo que equivale a 12.141,81 m³ de agua.

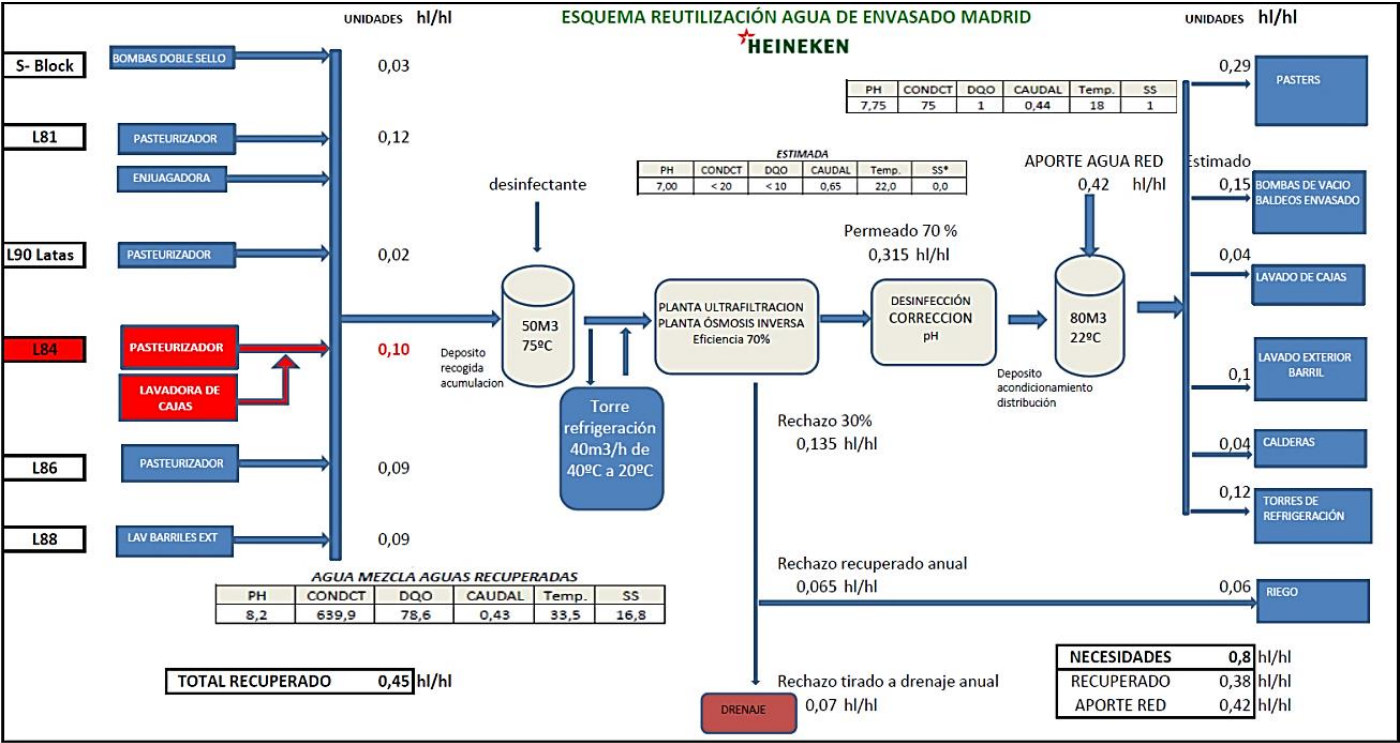


Imagen 20.

Fuente: Heineken España.

9. LAVADORA DE BOTELLAS.

9.1 Descripción del problema y desgloses.

La lavadora de botellas es la máquina que más consumo de agua tiene de toda la línea 84. Su histórico de consumo está en torno a 2.5 hl/hl línea por semana hasta el comienzo del análisis en el mes de Febrero de 2015. Para llevar a cabo la optimización energética utilizaremos una de las herramientas más útiles de TPM, un Kaizen.

El Kaizen, como se explicó en el apartado de herramientas del TPM, es un equipo de trabajo de un mes de duración aproximada en el que participan un mecánico, un operario de la máquina, uno de los líderes del pilar, en este caso el pilar de mejora específica, y un facilitador que coordina y proporciona los medios necesarios para conseguir los objetivos marcados del Kaizen.

En este caso como se muestra en los desgloses de consumos hasta el mes de febrero, partimos de 2.5 hl/hl línea y el objetivo es llegar a 1.5 hl/hl línea al finalizar el equipo.

- Desgloses de consumos de agua por departamento. (Medido en hl agua/hl cerveza producido en fábrica)

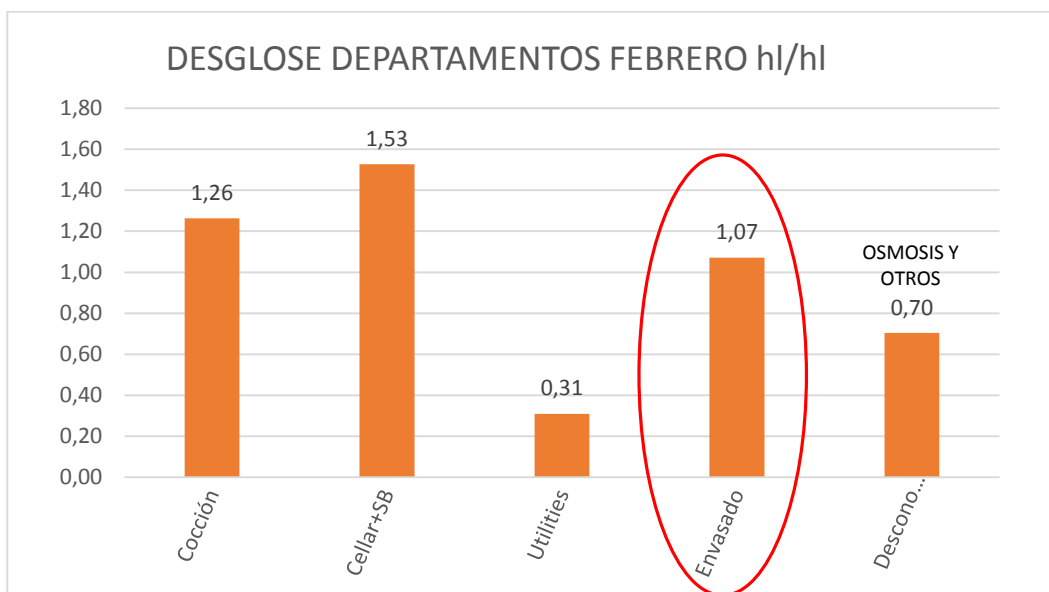


Gráfico 10.

Fuente: propia.

- Desglose de consumo de agua por línea. (Medido en hl agua/ hl cerveza producido por línea)

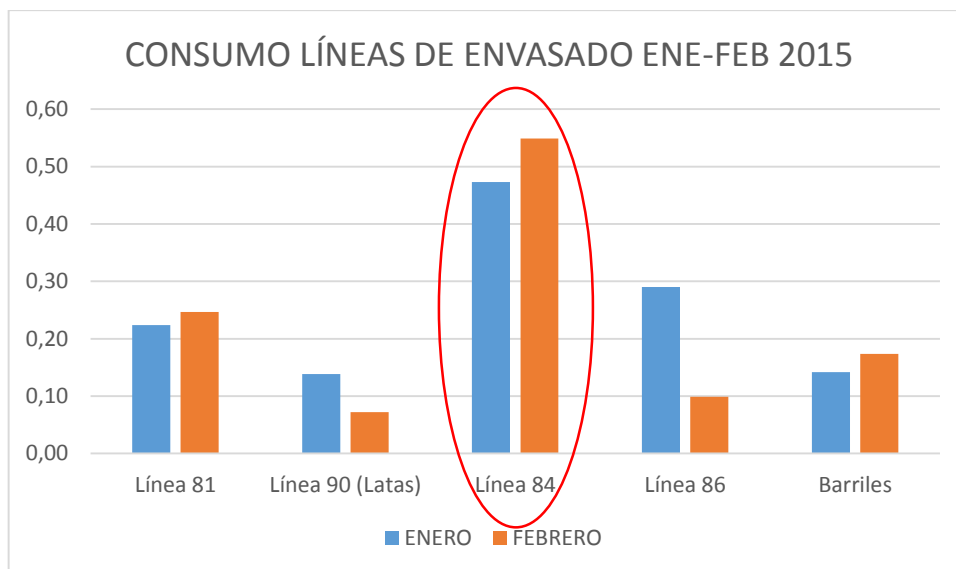


Gráfico 11.

Fuente: propia.

- Desglose de consumo de agua por máquina del Clúster 2 HORECA. (Medido en hl agua/ hl cerveza producido por línea)

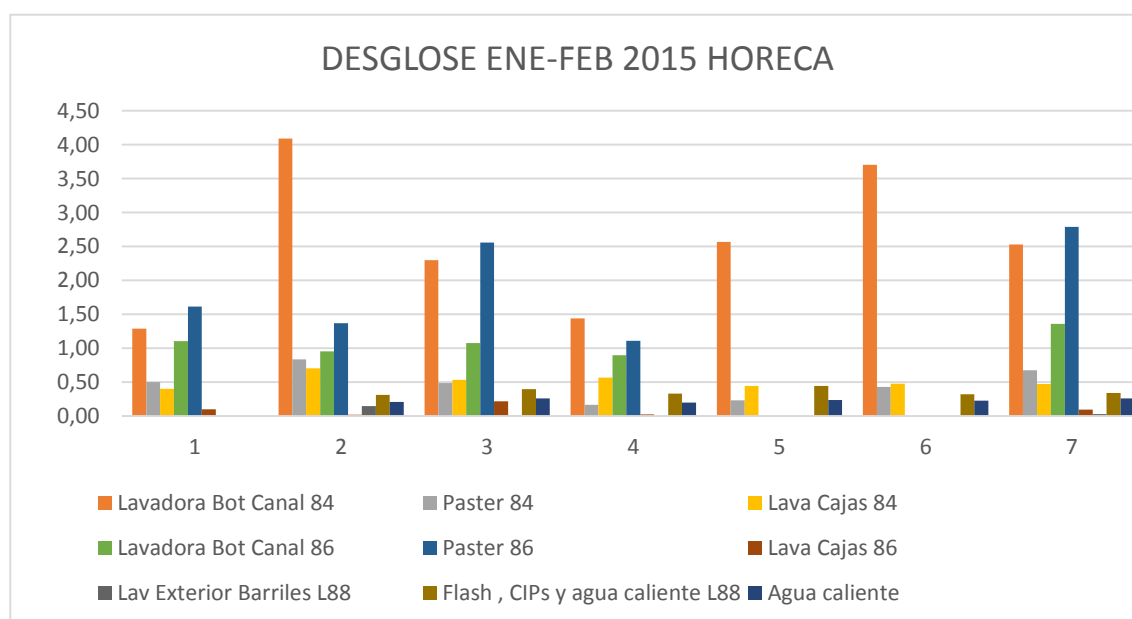


Gráfico 12.

Fuente: propia.

La lavadora de botellas es la máquina donde se limpian las botellas procedentes de los establecimientos hosteleros mediante inyección de agua dentro de las botellas e inmersión en baños de sosa y agua a altas temperaturas. Para abastecer la lavadora hay dos entradas de agua, una entrada de agua fría directa al último enjuague y un aporte a los baños de sosa y agua caliente. El elevado consumo procede principalmente de la inyección del último enjuague de la lavadora de botellas.

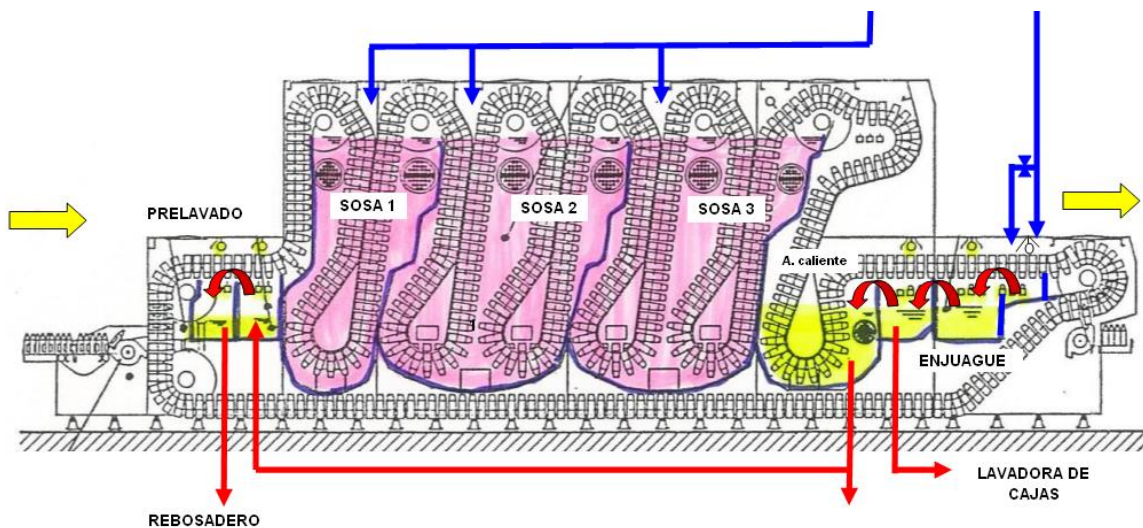
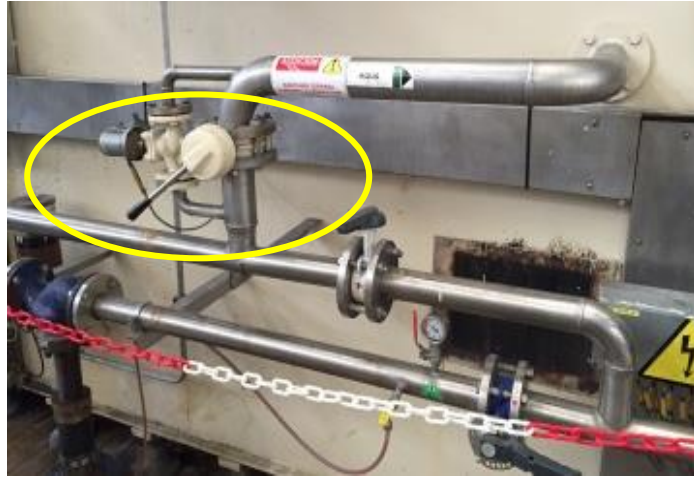


Imagen 21.

Fuente: Heineken España.

El problema actual es que hay mucha generación de vapor dentro de la máquina, el cual al circular por la salida, la fotocélula que detecta acumulación de envases en el transporte de salida de la lavadora y la barrera de seguridad que también se encuentran a la salida detectan estos vapores y hace parar la máquina, generando un problema continuo al maquinista.

Para evitar estos paros continuados, el maquinista se ve obligado a abrir de forma manual la válvula de by-pass que inyecta agua de forma continuada a los últimos baños de enjuague con objeto de enfriarlos y eliminar esos vapores



Fotografía 11.

Fuente: propia.

Esto lógicamente dispara el consumo de agua de la lavadora de botellas hasta los valores en los que empezamos el equipo.

9.2 Principio de funcionamiento y restauración de condiciones iniciales.

Lista de etiquetas resueltas en Simec como parte de la restauración de condiciones iniciales de la máquina:

Nr.	Data Creazione	Tipo:	Priorità:	Macchina	Descrizione	Pianificato II Note Pianificazione	Assegnato A: Azienda Estema
Envasado - LINEA 84 - RETORNABLE							
20.280	29/01/2015	Funcionamiento An	Normal	LAVADORA BOTELLAS	Barreras de Chapa dobladas o sueltas.	06/02/2015 Hablar con Ruben Luque.	Raúl Lázaro
20.281	29/01/2015	Funcionamiento An	Normal	LAVADORA BOTELLAS	Rotura Barra de sujeción del pistón de enjuague Nº 4	29/01/2015 Reparar	Antonio Lobo Mafrice
20.356	05/02/2015	Otras	Alta	LAVADORA BOTELLAS Expandir acción a tuberías de drenaje de: Llenadora 84 Lavadora 88 Llenadora 88 Lavadora 86 Llenadora 86	Colocar en tuberías de drenaje tramos de material transparente que permita visualización	05/02/2015 Planificar para reparación general.	Antonio Lobo
20.357	05/02/2015	Otras	Normal	LAVADORA BOTELLAS Expandir la acción a: Llenadoras 84 Lavadora 88 Llenadora 88 Lavadora 86 Llenadora 86	Identificar tuberías de drenajes	06/02/2015 Marcar	Raúl Lázaro
20.358	06/02/2015	Piezas Dañadas	Normal	LAVADORA BOTELLAS Soporte filtro Nº 4 roto	Hay que soldarlo	06/02/2015 Reforzar soporte y soldar	Antonio Lobo Mafrice
20.383	10/02/2015	Otros	Muy Alta	LAVADORA BOTELLAS Chapas protectoras en pasillo de TPM	Las barreras de chapa del pasillo están dobladas y sueltas	10/02/2015 Devolver las chapas a su estado original	Pedro Manuel Fuentes Lima
20.405	11/02/2015	Piezas Dañadas	Normal	LAVADORA BOTELLAS	Alveolo deteriorado	11/02/2015 sustituir el alveolo	
20.406	11/02/2015	Otros	Muy Alta	LAVADORA BOTELLAS pasarela interior	en la pasarela esta colocado el ventilador en medio de la zona de paso	11/02/2015 hay que retirar el ventilador y ponerlo en un sitio adecuado	Avelino Lago
20.407	11/02/2015	Riesgo eléctrico	Muy Alta	LAVADORA BOTELLAS	cable de una fotocelula colgando en el suelo	11/02/2015 cable de una fotocelula colgando en el suelo	Avelino Lago
20.409	11/02/2015	Lubricante, grasa	Baja	LAVADORA BOTELLAS	retirar y limpiar cajas recogegrasas, está rebosando baño nº 1, nº2, nº3 y zona de preenjuague.	11/02/2015 comentar al operario que esté la semana que viene en la lavadora.	Francisco Gómez Bellido
20.410	11/02/2015	Piezas Dañadas	Normal	LAVADORA BOTELLAS	La carcasa del extractor de vapores está picada. Está cayendo todo el líquido a las válvulas y plancha superior de la lavadora.	11/02/2015 hay que revisar el extractor y sustituir lo que esté picado.	Antonio Lobo
20.424	12/02/2015	Escalera insegura	Muy Alta	LAVADORA BOTELLAS escalera de acceso	hay un peldaño que se mueve	12/02/2015 uno de los tornillos se ha soltado y el peldaño cabecea	Mario Obregon Olmos

Tabla 8.

Fuente: Simec. Heineken España.

Principio de funcionamiento.

El objetivo de esta máquina es realizar un lavado exhaustivo a las botellas que, debido a que proceden de los establecimientos de la industria hostelera, son objeto de mayores cantidades de suciedad. Es por esto, que el lavado de estas botellas debe ser especialmente cuidadoso.

Las botellas llegan al transporte de entrada y cada una es introducida en un bozal que la transportará a lo largo de toda la maquina hasta la salida, la acción de introducir las botellas

en los bozales la realizan unas aspas que giran por la acción de un eje de transmisión.

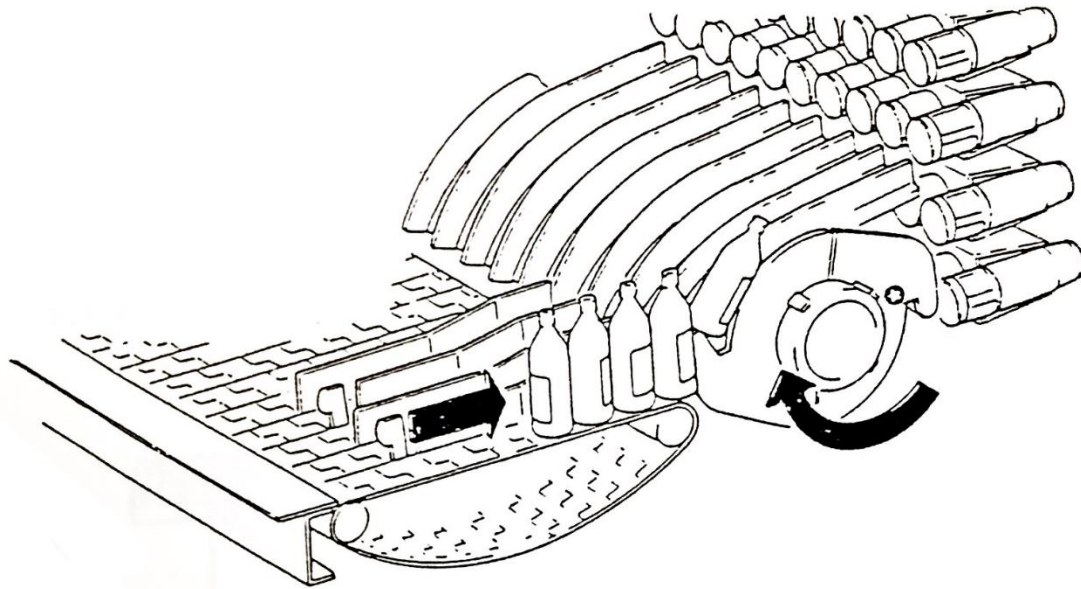


Imagen 22.

Fuente: manual de lavadora KHS.

Posteriormente las botellas pasan por dos baños de prelavado que se encuentran a una temperatura moderadamente elevada, sobre unos 45°C.

Existen dos baños de prelavado, el segundo baño recibe su agua procedente del baño de agua caliente. El agua de los baños es inyectado sobre las boquillas de las botellas a través de una tubería que culmina en un colector donde se encuentran los inyectores y es impulsado a través de una bomba centrífuga.

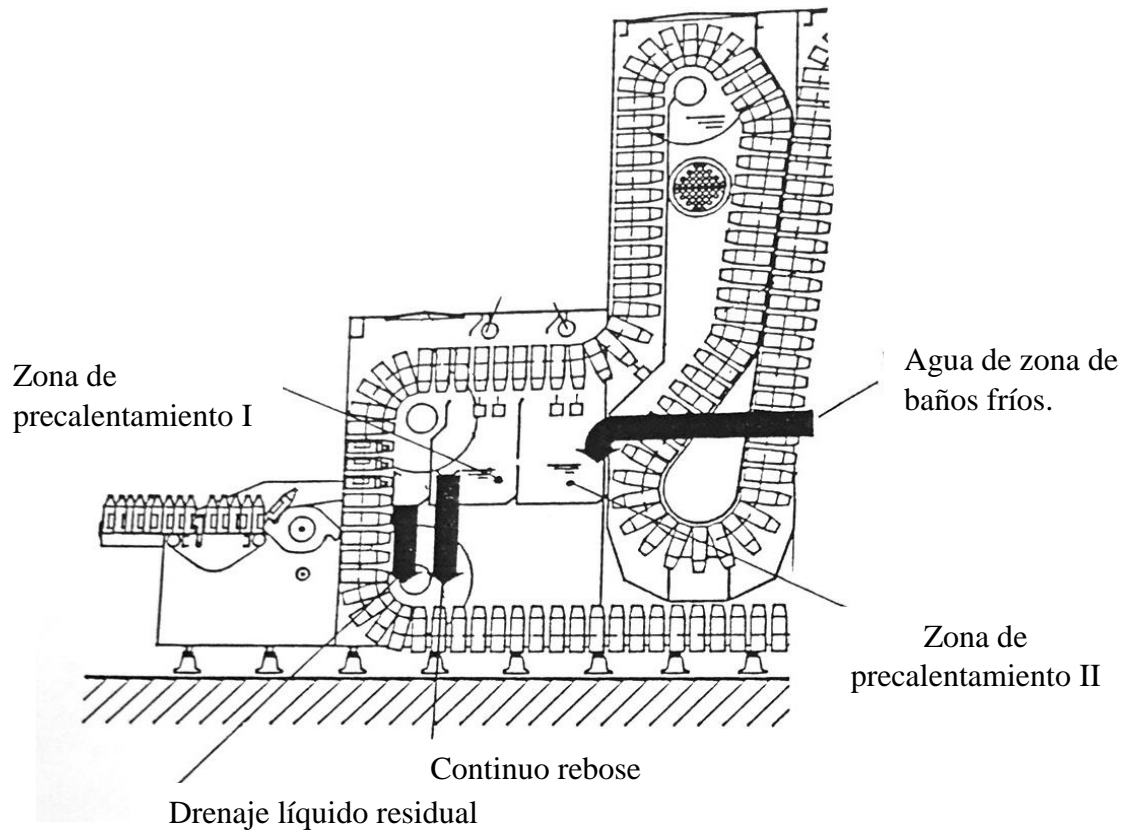


Imagen 23.

Fuente: manual de lavadora KHS.

El primer baño de prelavado es rellenado por rebose del segundo baño y sirve además de precalentamiento para las botellas ya que un choque térmico brusco podría dañar el material.

Tanto los dos primeros baños de prelavado como los últimos baños de enjuague utilizan el mismo sistema de inyección en la boca de la botella.

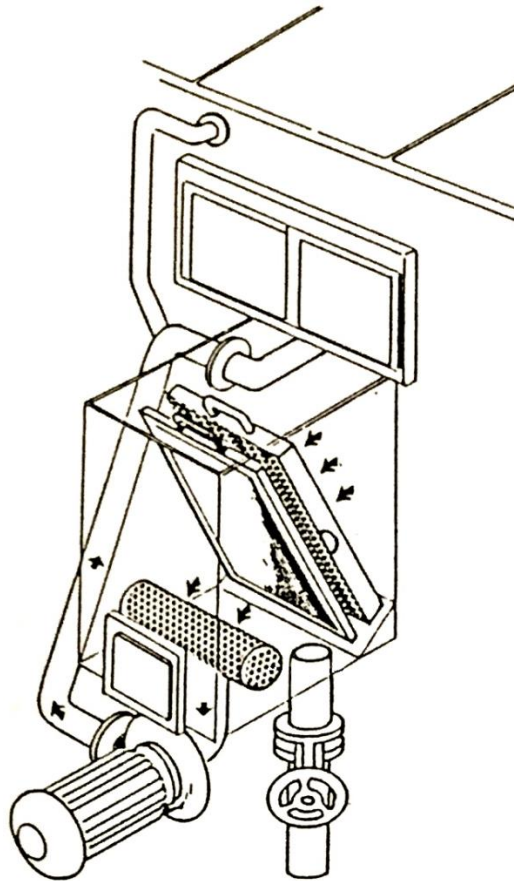


Imagen 24.

Fuente: manual de lavadora KHS.

Una vez las botellas han sido enjuagadas y precalentadas en los baños de preenjuague están listas para pasar a los baños de sosa. Esta parte del proceso por el que transcurren las botellas consta de tres baños, todos ellos con una disolución de sosa y agua. La misión de estos baños es dejar la botella sin ningún resto de suciedad y sobretodo despegar y evacuar las etiquetas que vienen pegadas a la botella.

La extracción de las etiquetas en los baños de sosa se realiza de la siguiente manera. Las botellas entran en los baños y se sumergen en la disolución de sosa, los baños tienen dos compartimentos 1 y 2, el compartimento 2 siempre tiene más nivel que el 1. La diferencia de nivel entre éstos provoca un flujo intenso de 2 hacia 1 que atraviesa los alojamientos donde van colocadas las botellas por las aberturas 3, de esta manera se facilita el despegue de las etiquetas. Las etiquetas son transportadas por el flujo de sosa del compartimento 1 hacia el tambor de cribado giratorio 7 en el compartimento interno cáustica 1. Las etiquetas y la suciedad que ha sido retirada de las botellas se queda adherida a la cinta de extracción

de las etiquetas 6 dentro del tambor giratorio. Todos estos restos de etiquetas y suciedad son retirados de la cinta por un cepillo igualmente alojado en el tambor y todo el sistema se autoalimenta por la acción de una bomba que recoge la disolución y la vuelve a inyectar sobre el tambor para, por un lado limpiarlo y por otro realimentar el compartimento 2. Este sistema es común en los tres baños de sosa de la lavadora de botellas

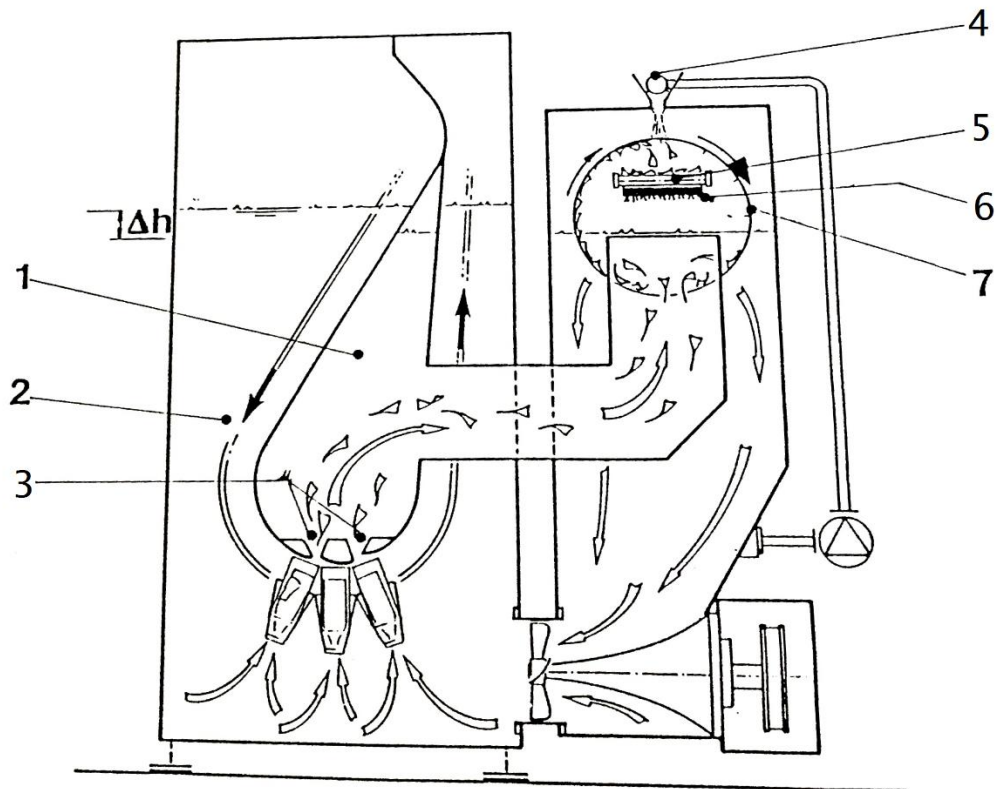


Imagen 25.

Fuente: manual de lavadora KHS.

Cada uno de los tres baños de sosa tiene una temperatura y concentración de sosa propia y para compensar las pérdidas de nivel o concentración de producto que puedan surgir, los tres baños tienen una entrada de agua con sosa. La temperatura de los baños se consigue a través de intercambiadores de calor instalados directamente en los baños.

En la siguiente tabla se muestran las concentraciones (milisiemens mS) y temperaturas de trabajo (grado Celsius °C):

	TEMPERATURA (°C)	CONCENTRACIÓN (mS)
<i>Baño sosa 1</i>	75	Máx.=80mS, Mín.=72mS
<i>Baño sosa 2</i>	80	Máx.=80mS, Mín.=72mS
<i>Baños sosa 3</i>	70	Máx.=80mS, Mín.=75mS

Tabla 9.

Fuente: propia.

Posteriormente las botellas, ya sin grandes restos de suciedad y sin etiquetas pegadas son conducidas hasta el baño de agua caliente. Este baño está a una temperatura de 60°C aproximadamente gracias a la acción del último de los intercambiadores de calor que hay en la lavadora y recibe su agua procedente del rebose de los baños de enjuague posteriores y es el último baño donde la botella transcurre por inmersión. El baño sirve para reducir la temperatura de las botellas y empezarlas a limpiar de restos de sosa.

Finalmente las botellas llegan a los baños de enjuague final. En estos baños es donde la botella es limpiada por completo de las posibles trazas de sosa que todavía puedan tener además de reducir la temperatura a alrededor de 30°C. Estos enjuagues utilizan el mismo sistema de inyección en boca que los primeros baños de precalentamiento con la diferencia de que las últimas dos barras de enjuague son rotativas, es decir, giran acompañando el movimiento de la botella, con esto se consigue enjuagar de forma más eficiente las paredes interiores de la botella.

El agua que llega a estas dos últimas barras es agua limpia fría directamente de la red y constituye el principal gasto de agua de la máquina. La presión de inyección que tienen estas barras es gracias a una válvula reductora de presión que limita la entrada de agua a algo más de un bar. Uno de los principales problemas en cuanto a regulación de presión viene por el hecho de que las barras sean giratorias ya que hay varios momentos en el que los inyectores de estos colectores están tapados y son destapados conforme las botellas llegan. De esta manera, los inyectores pasan de estar tapados a estar destapados muy rápidamente lo que provoca saltos en la presión difíciles de controlar.

Imagen de las barras de los últimos enjuagues con los detalles de funcionamiento de colectores fijos y últimos colectores giratorios.

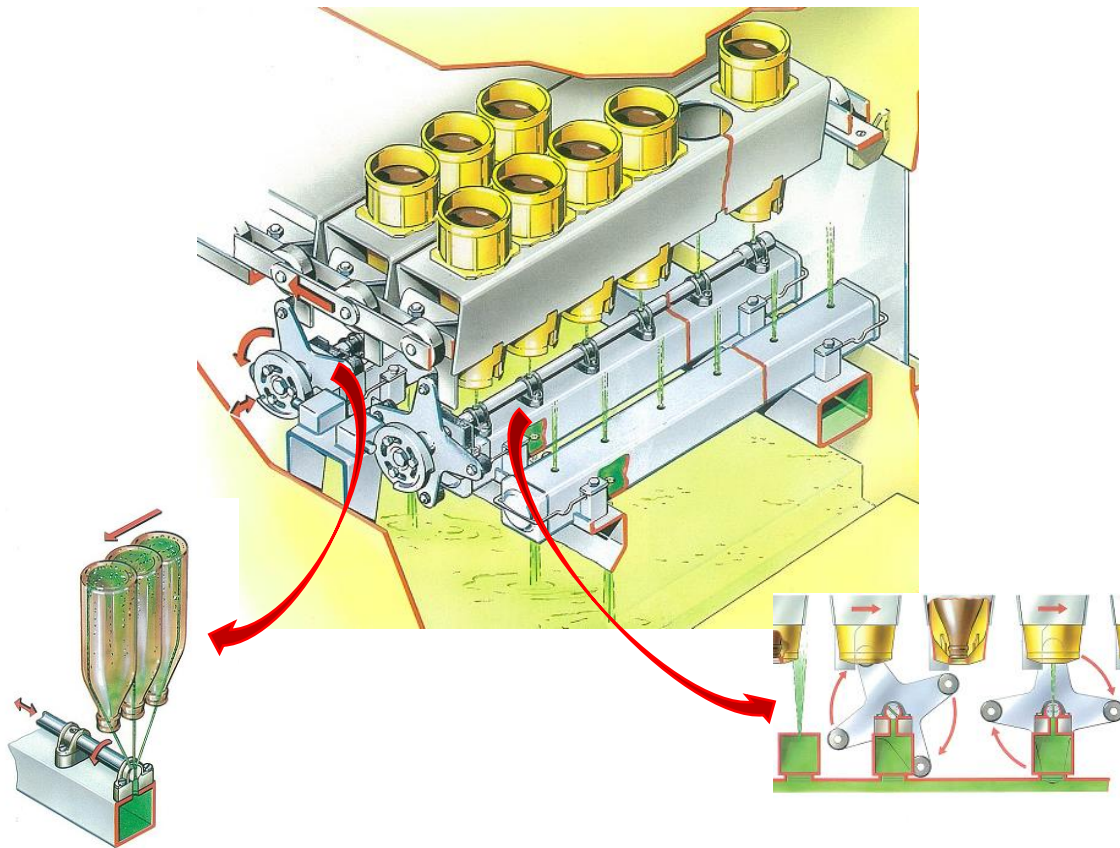


Imagen 26.

Fuente: manual de lavadora KHS

Finalmente las botellas son descargadas con un sistema muy similar al que la máquina presenta en la entrada. Como se aprecia en la imagen 27 las botellas llegan de los inyectores de agua fría del último enjuague (1) y caen hacia la salida donde son descargadas gracias a la acción de las aspas montadas sobre el eje de salida. Todo el líquido residual que portan las botellas cae en esta zona de caída (2).

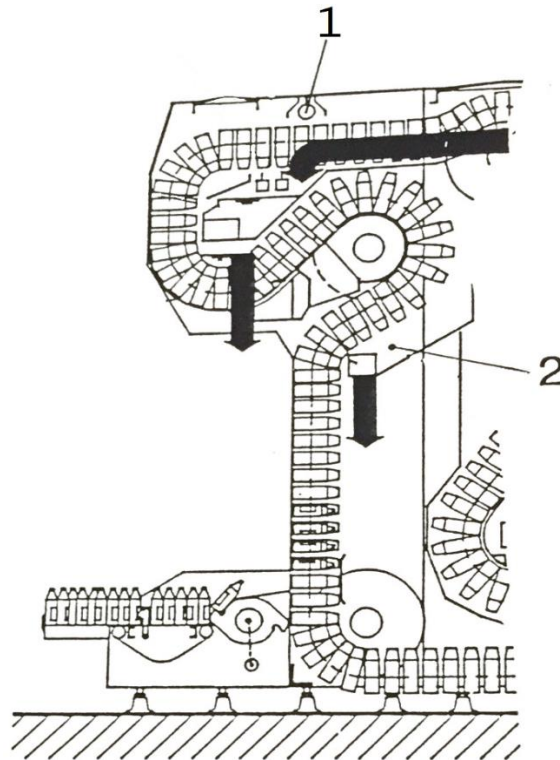
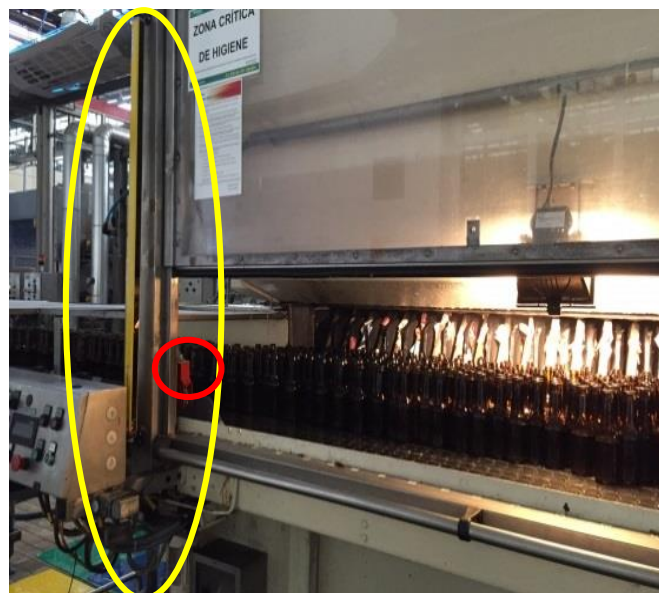


Imagen 27.

Fuente: manual de lavadora KHS

En el transporte de salida, como parte de la seguridad de la máquina, hay una fotocélula que detecta acumulación de botellas en la salida y una barrera de seguridad que detecta cualquier objeto que entre en la descarga de la lavadora, para evitar que cualquier persona que vaya a manipular por esa zona de la máquina pueda quedar enganchado y tener un accidente. Esta es la barrera de seguridad que detecta el vapor saliendo de la máquina y para la lavadora.



Fotografía 16.

Fuente: propia.

- Sistema de vapor de la lavadora de botellas.

La lavadora de botellas consta de cuatro intercambiadores de calor situados cada uno en los baños calientes de la lavadora.

El primer intercambiador se encuentra en el baño 1 de sosa, los otros dos baños de sosa tienen intercambiadores idénticos algo más pequeños en longitud que el primero y por último, el cuarto intercambiador situado en el baño de agua caliente, es el más pequeño de los cuatro.

Cada uno de los intercambiadores calienta la disolución de agua y sosa en sus respectivos baños y el intercambiador del baño de agua caliente hace lo propio. El consumo de agua en estos baños es provocado por tres circunstancias:

1. Fugas internas en el baño o en las válvulas de drenaje. Para reponer este agua perdida, la sonda de nivel del baño manda una señal de apertura a la válvula de entrada de agua.
2. Sobrecalentamiento de los baños. Si la temperatura de los baños aumenta por encima de lo que marca el SET POINT establecido para ese baño, la sonda de temperatura mandará abrir la válvula de entrada de agua para enfriar el baño.
3. Conductividad alta del baño. Si la concentración de sosa en el baño supera los límites establecidos en SET POINT pertinente, el conductivímetro mandará señal de apertura a la válvula de entrada de agua para regular la concentración.

9.2.1 Explicación teórica diseño intercambiadores.

A la hora de seleccionar un intercambiador de calor existen varios factores que influyen, para realizar una adecuada selección. Entre ellos mencionaremos:

- Flujo de calor
- Tamaño y peso

- Caída de presión
- Economía

Nos concentraremos en describir fundamentalmente la metodología para el análisis y selección de intercambiadores de calor, desde el punto de vista térmico.

En este sentido destacan las siguientes técnicas de análisis. Factor de corrección-Diferencia de temperatura logarítmica media (F-LMTD), y Efectividad- Número de unidades de Transferencia (ϵ -NTU)

Tipos de intercambiadores de calor.

Los intercambiadores de calor se clasifican en 4 tipos. Intercambiadores de:

- Doble Tubo
- Carcasa y Tubo
- Flujo Cruzado
- Compacto

Carcasa y tubo: Es el intercambiador más ampliamente usado en la industria. En este intercambiador un fluido fluye por el interior de los tubos, mientras el otro es forzado a través de la carcasa y sobre el exterior de los tubos. Para asegurar que el fluido por el lado de la carcasa fluya a través de los tubos e induzca una mayor transferencia de calor, se colocan, deflectores o placas verticales. Es corriente encontrar intercambiadores de calor de 2, 4, 8, etc. pasos de tubos. De la misma manera existe la posibilidad que exista varios pasos de carcasa.

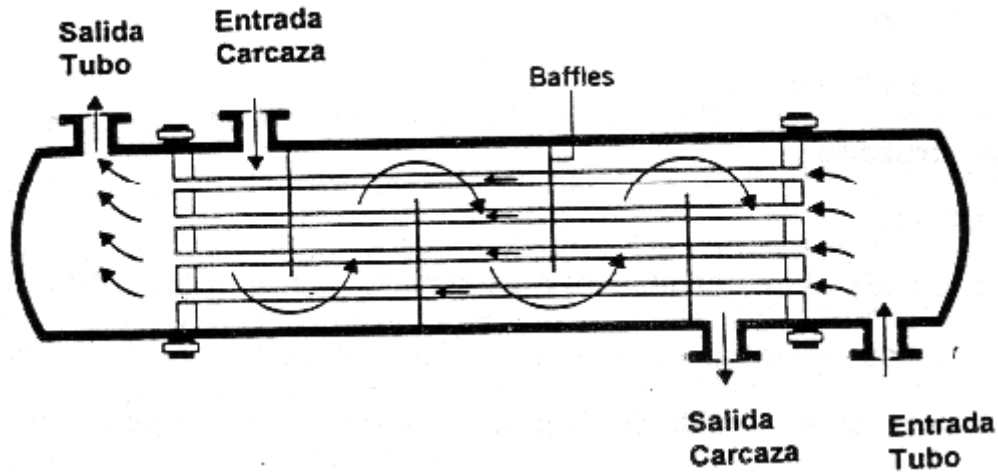


Imagen 28.

Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor. Frank P. Incropera/David P. De Witt

Coefficiente Global de Transferencia de Calor.

A diferencia de los procesos estudiados anteriormente, la temperatura superficial o los flujos de calor no son especificados para los intercambiadores de calor. Esta complicación es resuelta mediante la utilización del Coeficiente Global de Transferencia de Calor. Este coeficiente es definido en términos de la resistencia térmica total a la transferencia de calor entre dos fluidos. Cuando consideramos fluidos de un intercambiador de calor fluyendo fuera y dentro de un tubo, Imagen 29.

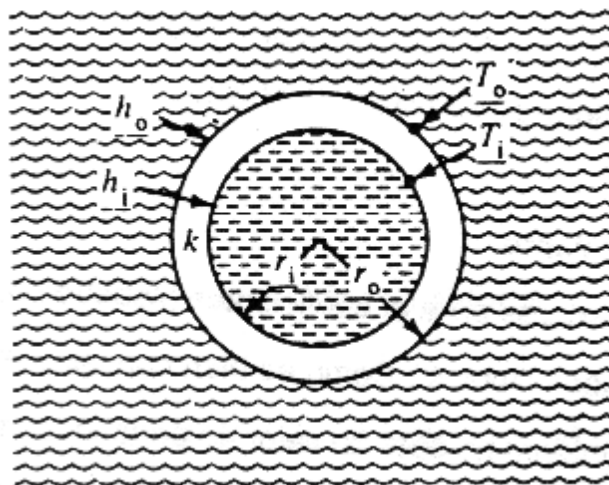


Imagen 29.

Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor. Frank P. Incropera/David P. De Witt

De manera que podemos escribir que:

$$\frac{1}{U_0 A_0} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{\frac{1}{h_0 A_0} + \frac{\ln(r_0 / r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_i A_i}}$$

Donde U_0 , designa al coeficiente global de transferencia de calor, referido al área externa, y de igual forma, U_i se refiere al coeficiente global de transferencia de calor referido al área interna. Dicha distinción es necesaria, debido a que el área disponible para transferencia de calor no es constante sino se crece cuando se avanza radialmente.

En la tabla siguiente se muestra valores típicos del coeficiente global de Transferencia de calor, U

VALORES REPRESENTATIVOS DEL U

Combinación de fluidos	U (W/m ² ·K)
Agua con agua	850-1700
Agua con aceite	110-350
Condensador de vapor (agua en tubos)	1000-6000
Condensador de amoníaco (agua en tubos)	800-1400
Condensador de alcohol (agua en tubos)	250-700
Intercambiador de calor de tubos con aletas (agua en tubos, aire en flujo cruzado)	25-50
Vapor con fuel oil ligero	170-340
Vapor con fuel oil pesado	56-170
Vapor con keroseno o gasolina	280-1140
Intercambiador de calor de tubos con aletas (vapor en tubos, aire en flujo cruzado)	28-280

Tabla 10.

Fuente: coeficiente global de transferencia de calor. Fuente: Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor. Frank P. Incropera/David P. De Witt

Factor de encrustamiento.

Las expresiones anteriores para el coeficiente global de transferencia de calor, son válidas para tubos limpios. Como es bien conocido las superficies interiores de los tubos de un intercambiador de calor no permanecen limpias después de varios meses de operación. Se forman escamas o depósitos en la superficie interior. La acumulación de escamas o depósitos en el interior de los tubos, pueden afectar severamente el valor del coeficiente global de transferencia de calor, U

El efecto global de los depósitos se cuantifica por el denominado Factor de encrustamiento o Factor de suciedad, R_f el cual se determina experimentalmente. Su efecto neto consiste en incrementar la resistencia al flujo de calor, o que en otras palabras disminuir el coeficiente global de Transferencia de calor.

R_f , se relaciona con el coeficiente Global teórico, mediante la siguiente expresión:

$$\frac{1}{U_{\text{operación}}} = \frac{1}{U_{\text{teórico}}} + R_f$$

A continuación se presenta una Tabla con valores típicos del factor de encrustamiento.

VALORES REPRESENTATIVOS DEL FACTOR DE ENSUCIAMIENTO

Fluido	F_s (m ² K/W)
Agua de mar y agua tratada para alimentación del caldera	< 50°C 0.0001
	> 50°C 0.0002
Agua de río (> 50°C)	0.0002-0.001
Aceite de motor	0.0009
Líquidos refrigerantes	0.0002
Vapor (no aceitoso)	0.0001

Tabla 11. Fuente: coeficiente global de transferencia de calor. Fuente: Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor. Frank P. Incropera/David P. De Witt

Análisis Térmico de un intercambiador de calor.

El objetivo de un análisis térmico de un intercambiador de calor es el de ser capaces de expresar la cantidad total de calor transferido, q , del fluido caliente al fluido frío, en términos del coeficiente global de transferencia de calor. El área de transferencia de calor A , y las temperaturas de entrada y salida de los fluidos caliente y frío.

Un balance de energía da como resultado:

[Energía perdida por el flujo caliente] = [Energía ganada por el flujo frío] o bien:

$$\dot{m}_h c_h (T_{h,i} - T_{h,o}) = \dot{m}_c c_c (T_{c,i} - T_{c,o})$$

Donde:

\dot{m}_h : Flujo másico del fluido caliente

c_h : Calor específico del fluido caliente

$T_{h,i}$: Temperatura de entrada del fluido caliente

$T_{h,o}$: Temperatura de salida del fluido caliente

\dot{m}_c : Flujo másico del fluido frío

c_c : Calor específico del fluido frío

$T_{c,i}$: Temperatura de entrada del fluido frío

$T_{c,o}$: Temperatura de salida del fluido frío

El producto ($\dot{m}_h c_h$) aparece con frecuencia en el análisis de intercambiadores de calor y es denominado, Capacidad calorífica, C ,

$$C = \dot{m}_h c_h$$

Existen dos metodologías de análisis térmico de intercambiadores de Calor.

- **Método F-LMTD**
- Método eficiencia-NTU

Diferencia de temperatura media logarítmica.

Considérese el intercambiador de calor de doble tubo mostrado en la imagen 30, el cual opera en flujo paralelo:

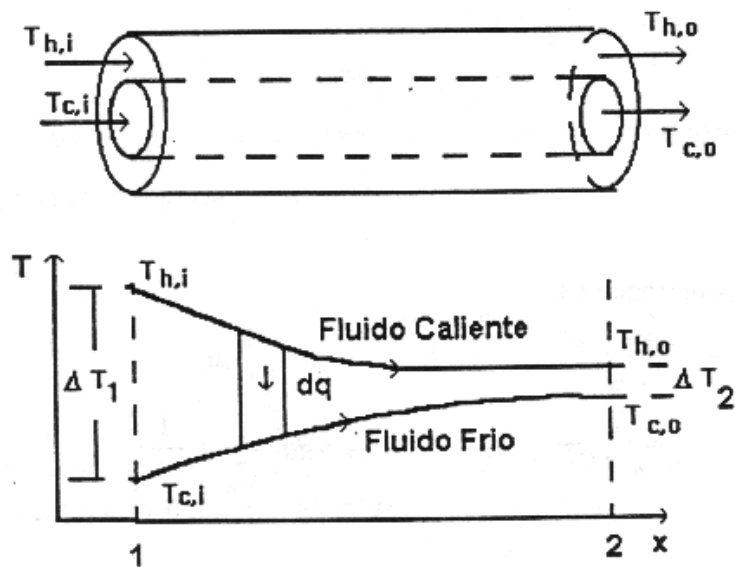


Imagen 30.

Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor. Frank P. Incropera/David P. De Witt

Se propone calcular el flujo de calor mediante:

$$\dot{q} = U A \Delta T_m$$

Donde:

\dot{q} : Flujo de calor [W]

U : Coeficiente Global de transferencia de calor, [W/m²K]

A : Área de transferencia de calor consistente con U .

ΔT_m : Diferencia de temperatura media

En la imagen 30 se muestra la historia de las temperaturas de los fluidos fríos y calientes, de este modo un balance de energía nos da como resultado.

$$d_q = \dot{m}_c c_c U A \Delta T_m$$

Incorporando la capacidad calorífica, y simplificando, obtenemos:

$$dT_h = \frac{dq}{C_h}$$

$$dT_c = \frac{dq}{C_c}$$

Restando ambas ecuaciones:

$$dT_h - dT_c = d(T_h - T) = -dq \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right)$$

Sustituyendo la expresión de calor expresada por:

$$dq = U(T_h - T_c)dA$$

Se obtiene la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{d(T_h - T_c)}{T_h - T_c} = -U(T_h - T_c) \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right) dA$$

Integrando la ecuación anterior entre el punto 1 y el punto 2, se obtiene:

$$\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = -U \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right) A$$

Si

$$C_c = \frac{q}{T_{c,0} - T_{c,i}}$$

$$C_h = \frac{q}{T_{h,0} - T_{h,i}}$$

De manera que sustituyendo las ecuaciones anteriores en la ecuación previamente integrada, obtenemos:

$$\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = -U \left(\frac{T_{c,0} - T_{c,i}}{q} + \frac{T_{h,0} - T_{h,i}}{q} \right) A$$

Reescribiendo la ecuación anterior:

$$\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = -\frac{UA}{q} \left((T_{c,0} - T_{c,i}) - (T_{h,0} - T_{h,i}) \right) = \frac{UA}{q} (\Delta T_2 - \Delta T_1)$$

Que al despejar de la ecuación anterior, q, se tiene:

$$q = UA \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

De la última ecuación se reconoce:

$$\Delta T_m = LMTD = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

Donde LMTD son las siglas en inglés de Logarithm Mean Temperature Difference (Diferencia de temperatura logarítmica media).

En forma similar para un intercambiador de doble tubo, operando en fijo en contracorriente, tal como el indicado en la imagen 31.

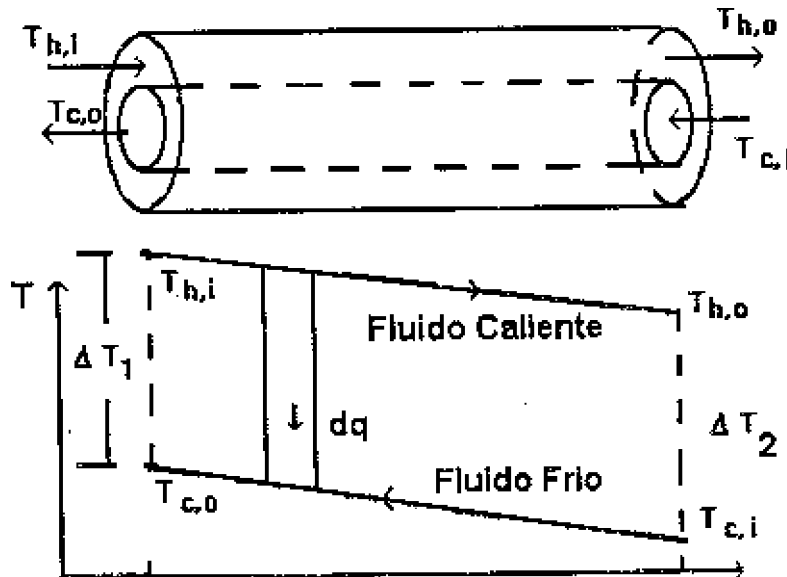


Imagen 31. Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor. Frank P. Incropera/David P. De Witt.

Se tiene que LMTD, viene dada por:

$$\Delta T_m = LMTD = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

Por tanto se verifica que aplica la misma expresión para LMTD, tanto en flujo paralelo, como en contracorriente.

Para el caso particular de operación en contracorriente, en el cual ambos fluidos poseen la misma capacidad calorífica, $C_c = C_h$, se obtiene que $\Delta T_1 = \Delta T_2$, de manera que se presenta una indeterminación en el cálculo de ΔT_m , que al solventar aplicando la regla L'hopital se obtiene finalmente que $\Delta T_m = \Delta T_1 = \Delta T_2$.

Intercambiadores de carcasa y tubo y Flujo Cruzado

Si se usa un intercambiador de calor diferente del tipo de doble tubo, la transferencia de calor se calcula usando un factor de corrección, F aplicado al valor LMDT, por tanto

$$\dot{q} = U A \Delta T_m$$

$$\Delta T_m = F \cdot LMTD$$

$$LMTD = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

Expresiones algebraicas para el factor de corrección, F, han sido desarrolladas para diversas configuraciones de intercambiadores de carcasa y tubo e intercambiadores tubo cruzado. Y los resultados pueden ser presentados en forma gráfica, tales como los mostrados en la imagen 32 a 35 la notación (T,t) es usada para especificar las temperaturas de los fluidos, con la variante t siempre asignada al fluido que circula por los tubos. Con esta convención no hay problema si es el fluido caliente o frío el que fluye por los tubos o por la carcasa. Una importante implicación de las imágenes 32 a 35 es que, si el cambio de temperatura del fluido es despreciable, P o R son cero y por tanto F=1. Independientemente de la configuración del intercambiador. Esta situación se presenta cuando uno de los fluidos presenta un cambio de fase.

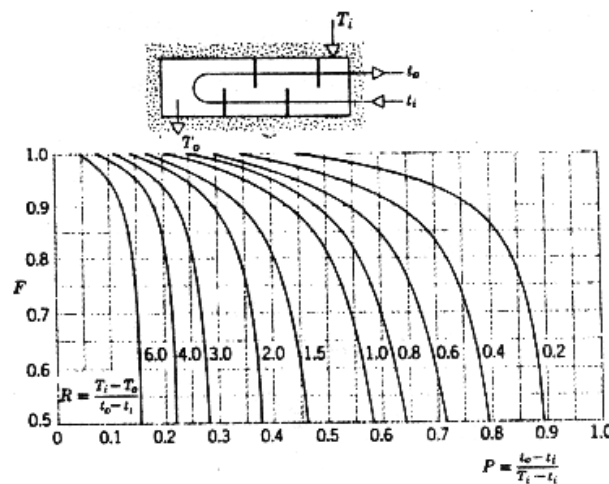


Imagen 32.

Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor. Frank P. Incropera/David P. De Witt

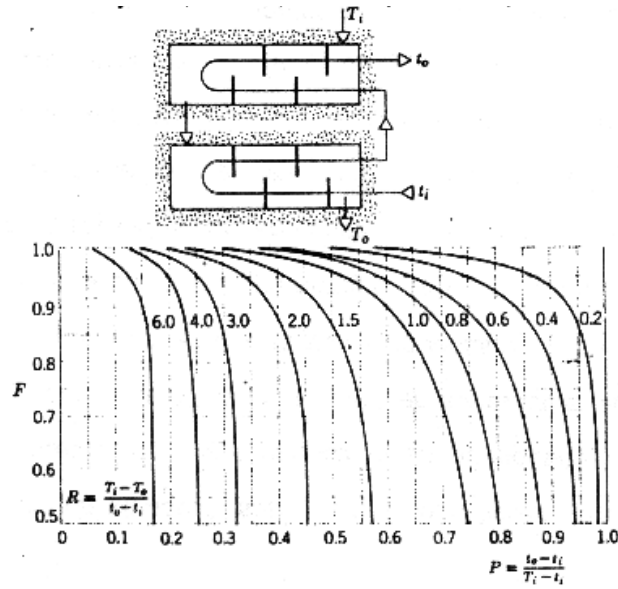


Imagen 33.

Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor. Frank P. Incropera/David P. De Witt.

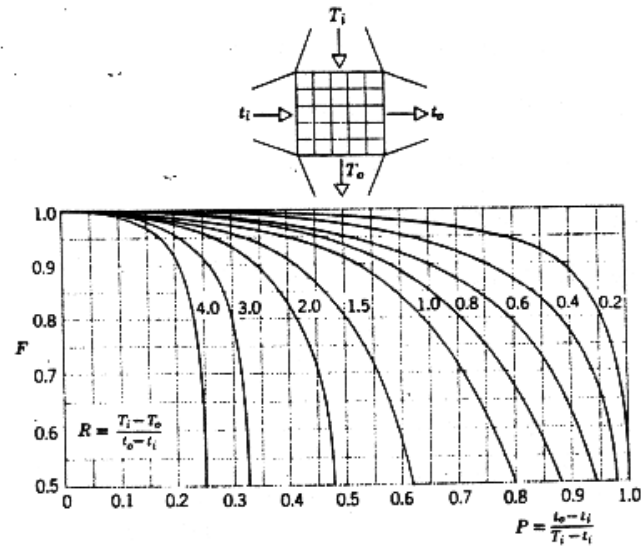


Imagen 34.

Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor. Frank P. Incropera/David P. De Wit

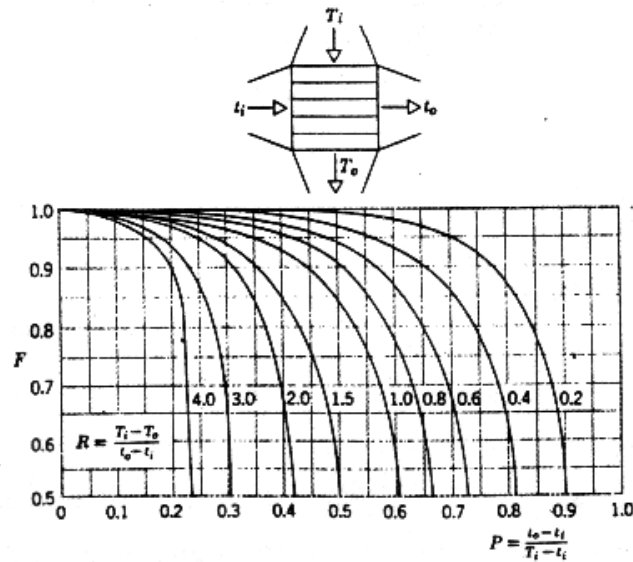


Imagen 35.

Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor. Frank P. Incropera/David P. De Witt.

9.2.2 BALANCE ENERGÉTICO.

En la lavadora de botellas no hay instalado un contador de vapor por lo que vamos a calcular este gasto másico a través de los condensados que obtenemos y que si son cuantificables.

El caudal volumétrico (q_v) por hora de condensado en condiciones normales de operación medido a través de contador es de 3,25 m³/h. Como disponemos de 4 intercambiadores en la máquina y no podemos determinar con exactitud lo que consume cada uno, vamos a suponer que cada intercambiador consume en función de su tamaño, el intercambiador 1 consumirá un 40% del total, los intercambiadores 2 y 3 al ser iguales pero algo más pequeños que el 1 consumirán un poco menos, un 25%. Finalmente el intercambiador 4 del baño de agua caliente, al ser el más pequeño será también el que menos consuma, supondremos el 10% restante.

INTERCAMBIADOR 1

El intercambiador del baño 1 de sosa se encontró fugando, con la mayoría de los tubos picados, por lo que todo el vapor que entraba en el intercambiador pasaba al fluido frío por la diferencia de presión, esto provoca que los condensados sean prácticamente nulos y que por lo tanto no se pueda recuperar la energía en las calderas. Además al pasar directamente

vapor a 143°C al fluido frío, la disolución de sosa y agua, ésta se calentaba más de lo necesario por lo que el consumo de agua para enfriar este baño se incrementó.

Caudal volumétrico:

$$q_v = 3,25 \frac{m^3}{h} \cdot 0,4 = 1,3 \frac{m^3}{h}$$

Generalmente el retorno de condensados suele ser del 85% por lo que al dato de consumo hay que añadirle un 15% de vapor.

$$1,3 \frac{m^3}{h} \cdot 1,15 = 1,495 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{m}_{vapor} = \rho \cdot q_v = 1000 \frac{kg}{m^3} 1,495 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} = 0,41 \frac{kg}{s}$$

El objetivo de un análisis térmico de un intercambiador de calor es el de ser capaces de expresar la cantidad total de calor transferido, q , del fluido caliente al fluido frío, en términos del coeficiente global de transferencia de calor. El área de transferencia de calor A , y las temperaturas de entrada y salida de los fluidos caliente y frío.

Un balance de energía da como resultado:

[Energía perdida por el flujo caliente] = [Energía ganada por el flujo frío] o bien:

$$\dot{m}_h c_h (T_{h,i} - T_{h,0}) = \dot{m}_c c_c (T_{c,i} - T_{c,0})$$

Dónde:

$$\dot{m}_h : \text{Flujo másico del fluido caliente} \quad : \dot{m}_h = 0,41 \frac{kg}{s}$$

$$c_h : \text{Calor específico del fluido caliente} \quad : c_h = 4,18 \frac{kJ}{kg K}$$

$T_{h,i}$: Temperatura de entrada del fluido caliente : $T_{h,i} = 143\text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{h,0}$: Temperatura de salida del fluido caliente : $T_{h,0} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

\dot{m}_c : Flujo másico del fluido frío : $\dot{m}_c = 0,88\text{ kg/s}$

c_c : Calor específico del fluido frío : $c_c = 4,18\text{ kJ/kg K}$
(suponemos agua en su totalidad)

$T_{c,i}$: Temperatura de entrada del fluido frío : $T_{c,i} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{c,0}$: Temperatura de salida del fluido frío : $T_{c,0} = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$

El producto ($\dot{m}_h c_h$) aparece con frecuencia en el análisis de intercambiadores de calor y es denominado, Capacidad calorífica, C.

$$\dot{q}_h = \dot{m}_h c_h (T_{h,i} - T_{h,0}) = 0,41 \frac{\text{kg}}{\text{s}} 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} (143 - 100)\text{K} = 73,7\text{ kW}$$

Cálculo del LMTD (suponiendo un Factor de corrección de F=1 porque tenemos cambio de fase en el intercambiador):

$$LMTD = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} = \frac{68 - 75}{\ln \frac{68}{75}} = 71,4\text{ K}$$

Cálculo del área de transferencia de calor y de la longitud de los tubos

$$A = \frac{\dot{q}}{U \Delta T_m} = \frac{73700\text{ W}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} 71,4\text{ K}} = 1,03\text{ m}^2$$

$$A = \pi D L$$

Conociendo el diámetro, 60mm:

$$L = \frac{A}{\pi D} = \frac{1,03m^2}{\pi 0'06} = 5,47m \approx 6m$$

La energía térmica transferida será:

$$\dot{q} = UA\Delta T_m = 1000 \frac{W}{m^2K} \cdot 1,03m^2 \cdot 71,4K = 73542W = \mathbf{73,5KW}$$

INTERCAMBIADOR 2 y 3

Caudal volumétrico:

$$q_v = 3,25 \frac{m^3}{h} \cdot 0,25 = 0,81 \frac{m^3}{h}$$

Generalmente el retorno de condensados suele ser del 85% por lo que al dato de consumo hay que añadirle un 15% de vapor.

$$0,81 m^3/h \cdot 1,15 = 0,93 m^3/h$$

$$\dot{m}_{vapor} = \rho \cdot q_v = 1000 \frac{kg}{m^3} 0,93 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} = 0,26 \frac{kg}{s}$$

El objetivo de un análisis térmico de un intercambiador de calor es el de ser capaces de expresar la cantidad total de calor transferido, q , del fluido caliente al fluido frío, en términos del coeficiente global de transferencia de calor. El área de transferencia de calor A , y las temperaturas de entrada y salida de los fluidos caliente y frío.

Un balance de energía da como resultado:

[Energía perdida por el flujo caliente] = [Energía ganada por el flujo frío] o bien:

$$\dot{m}_h c_h (T_{h,i} - T_{h,0}) = \dot{m}_c c_c (T_{c,i} - T_{c,0})$$

Dónde:

$$\dot{m}_h : \text{Flujo másico del fluido caliente} : \dot{m}_h = 0,26 \text{ kg/s}$$

$$c_h : \text{Calor específico del fluido caliente} : c_h = 4,18 \text{ kJ/kg K}$$

$$T_{h,i} : \text{Temperatura de entrada del fluido caliente} : T_{h,i} = 143 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{h,0} : \text{Temperatura de salida del fluido caliente} : T_{h,0} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_c : \text{Flujo másico del fluido frío} : \dot{m}_c = 0,55 \text{ kg/s}$$

$$c_c : \text{Calor específico del fluido frío} : c_c = 4,18 \text{ kJ/kg K}$$

(suponemos agua en su totalidad)

$$T_{c,i} : \text{Temperatura de entrada del fluido frío} : T_{c,i} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{c,0} : \text{Temperatura de salida del fluido frío} : T_{c,0} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

El producto ($\dot{m}_h c_h$) aparece con frecuencia en el análisis de intercambiadores de calor y es denominado, Capacidad calorífica, C.

$$\dot{q}_h = \dot{m}_h c_h (T_{h,i} - T_{h,0}) = 0,26 \frac{\text{kg}}{\text{s}} 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} (143 - 100) \text{ K} = 46,7 \text{ kW}$$

Cálculo del LMTD (suponiendo un Factor de corrección de F=1 porque tenemos cambio de fase en el intercambiador):

$$LMTD = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} = \frac{63 - 75}{\ln \frac{63}{75}} = 68,9K$$

Cálculo del área de transferencia de calor y de la longitud de los tubos

$$A = \frac{\dot{q}}{U\Delta T_m} = \frac{46700W}{1000 \frac{W}{m^2K} 68,9K} = 0,68m^2$$

$$A = \pi DL$$

Conociendo el diámetro, 50mm (estos intercambiadores utilizan tubos de diámetro más pequeño que el primero):

$$L = \frac{A}{\pi D} = \frac{0,68m^2}{\pi 0'05} = 4,32m \approx 4,5m$$

La energía térmica transferida será:

$$\dot{q} = UA\Delta T_m = 1000 \frac{W}{m^2K} 0,68m^2 \cdot 68,9K = 46852W = \mathbf{46,9KW}$$

Como tenemos dos intercambiadores idénticos, suponemos consumos idénticos:

$$46,9KW \times 2 \text{ intercambiadores} = \mathbf{93,7kW}$$

INTERCAMBIADOR 4

Caudal volumétrico:

$$q_v = 3,25 \frac{m^3}{h} \cdot 0,1 = 0,325 \frac{m^3}{h}$$

Generalmente el retorno de condensados suele ser del 85% por lo que al dato de consumo hay que añadirle un 15% de vapor.

$$0,325 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,15 = 0,37 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m}_{vapor} = \rho \cdot q_v = 1000 \frac{kg}{m^3} 0,37 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} = 0,1 \frac{kg}{s}$$

El objetivo de un análisis térmico de un intercambiador de calor es el de ser capaces de expresar la cantidad total de calor transferido, q , del fluido caliente al fluido frío, en términos del coeficiente global de transferencia de calor. El área de transferencia de calor A , y las temperaturas de entrada y salida de los fluidos caliente y frío.

Un balance de energía da como resultado:

[Energía perdida por el flujo caliente] = [Energía ganada por el flujo frío] o bien:

$$\dot{m}_h c_h (T_{h,i} - T_{h,o}) = \dot{m}_c c_c (T_{c,i} - T_{c,o})$$

Dónde:

$$\dot{m}_h : \text{Flujo másico del fluido caliente} \quad : \dot{m}_h = 0,1 \frac{kg}{s}$$

$$c_h : \text{Calor específico del fluido caliente} \quad : c_h = 4,18 \frac{kJ}{kg \text{ K}}$$

$T_{h,i}$: Temperatura de entrada del fluido caliente : $T_{h,i} = 143\text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{h,0}$: Temperatura de salida del fluido caliente : $T_{h,0} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

\dot{m}_c : Flujo másico del fluido frío : $\dot{m}_c = 0,22\text{ kg/s}$

c_c : Calor específico del fluido frío : $c_c = 4,18\text{ kJ/kg K}$
(suponemos agua en su totalidad)

$T_{c,i}$: Temperatura de entrada del fluido frío : $T_{c,i} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{c,0}$: Temperatura de salida del fluido frío : $T_{c,0} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$

El producto ($\dot{m}_h c_h$) aparece con frecuencia en el análisis de intercambiadores de calor y es denominado, Capacidad calorífica, C.

$$\dot{q}_h = \dot{m}_h c_h (T_{h,i} - T_{h,0}) = 0,1 \frac{\text{kg}}{\text{s}} 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} (143 - 100)\text{K} = 18,5\text{ kW}$$

Cálculo del LMTD (suponiendo un Factor de corrección de F=1 porque tenemos cambio de fase en el intercambiador):

$$LMTD = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} = \frac{73 - 75}{\ln \frac{73}{75}} = 74\text{ K}$$

Cálculo del área de transferencia de calor y de la longitud de los tubos

$$A = \frac{\dot{q}}{U \Delta T_m} = \frac{18500\text{ W}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} 74\text{ K}} = 0,25\text{ m}^2$$

$$A = \pi DL$$

Conociendo el diámetro, 50mm:

$$L = \frac{A}{\pi D} = \frac{0,25m^2}{\pi 0'05} = 1,6m \approx 2m$$

La energía térmica transferida será:

$$\dot{q} = UA\Delta T_m = 1000 \frac{W}{m^2K} \cdot 0,25m^2 \cdot 74K = 18500W = \mathbf{18,5KW}$$

9.3 Análisis de la causa raíz.

Modo de fallo/pérdida	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	AM	Acción
válvula by-pass abierta	Para enfriar el baño de enjuague	si.	Para evitar vapores en la salida	si.	Para que no paren la barrera de seguridad y la fotocélula	si.	Sistema de vapor insuficiente (originalmente solo había uno)	si.	Por diseño	Si	Máquina	1.Montar un segundo extractor
		si.	Intercambiador tubular fugando	si.	Por desgaste y falta de inspección	si.	No hay estándar de mantenimiento preventivo			si	Método	2. Crear estándar preventivo. 3.Sustituir intercambiador

Tabla 12.

Fuente: propia.

Debido a las altas temperaturas de trabajo que podemos encontrar en el interior de la lavadora, la generación de vapores es un factor que hay que tener en cuenta. El diseño inicial de la máquina con un único extractor de humos no era capaz de conseguir una evacuación de los vapores adecuada por lo que se ha ayudado a esa evacuación añadiendo un extractor adicional.

Además, al sacar los intercambiadores de calor tubulares de los baños de sosa y agua caliente, se encuentran:

El intercambiador del baño de sosa 1 con varias fugas irreparables por lo que se decide sustituirle por un intercambiador nuevo. El antiguo intercambiador estaba construido en acero al carbono y al encontrarlo roto, se instala el nuevo intercambiador de acero inoxidable. Más resistente ante la corrosión y en ambientes más extremos.

El intercambiador del baño de sosa 2 también se encontró con algunas fugas pero a diferencia del intercambiador del baño 1, este se ha podido reparar sellando las fugas que se encontraron.

Modo de fallo/ pérdida	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	AM	Acción
Exceso de consumo de agua	Presión de válvula reguladora muy elevada	No										
	Fugas en las barras de inyección y colectores	si.	Juntas en mal estado	si.	Falta de mantenimiento	si.				si.	Método	4. Crear estándar preventivo. 5. procedimiento de revisión
	Barras inyectoras fugando	si.	Tienen un taladro de inyección grande (las barras de enjuague tienen que tener un taladro de 2mm y el resto de barras 4mm)	si.	En alguna intervención se han confundido las barras y se han montado mal	si.	No están marcadas			si.	Método	6. Marcar número de barras del colector de enjuague en su posición

Tabla 13.

Fuente: propia

Como se ha mencionado previamente, el último enjuague conforma el principal consumidor de agua de la lavadora de botellas. El agua que se utiliza en estos inyectores es agua fría directamente de la red. Para controlar la presión de inyección, la tubería por la que llega el fluido a los colectores tiene una válvula reguladora de presión de regulación manual. Esta válvula está tarada para que la presión de enjuague no supere 1,2 bares. El equivalente a una columna de agua de 12 metros.



Fotografía 17.

Fuente: propia.

En cuanto a los inyectores de las barras de enjuague, solo las dos últimas barras de enjuague, aquellas que utilizan este agua fría directa de la red, tienen que tener un diámetro de inyector menor que el resto con el fin de ahorrar en el consumo. Si tras una reparación o limpieza se colocan equivocadas el gasto de agua en este enjuague se disparará.

Limpieza de las barras colectoras de enjuague.



Fotografía 18.

Fuente: propia

9.4 Implementación de medidas y seguimiento.

Al finalizar el equipo de trabajo Kaizen, los resultados han sido los siguientes:

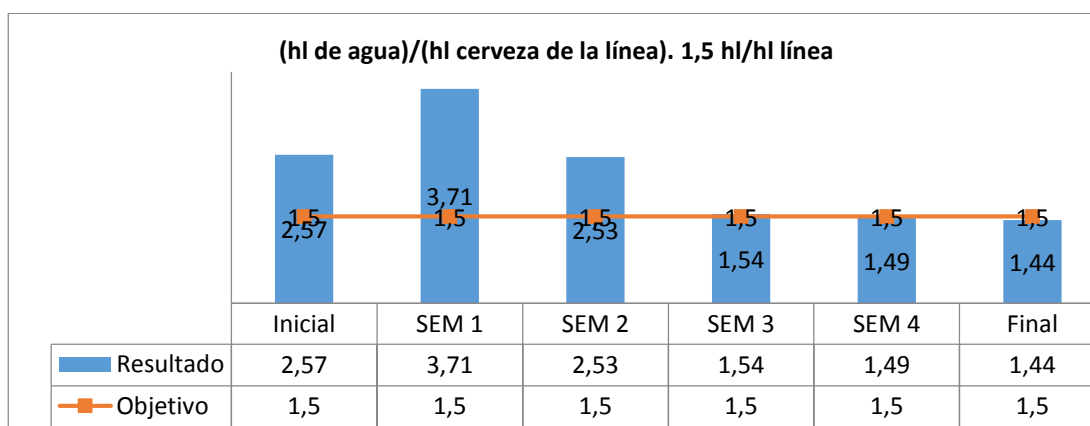


Gráfico 13.

Fuente: propia.

Se pasa de 2,57 HI/HI línea a 1,44 HI/HI línea. Lo que supone una media de ahorro mensual de 2000 m³.

Las medidas que se han tomado y realizado son las siguientes:

1. estándar de comprobación semanal de posición de válvula de by-pass.
2. Incluir en el estándar preventivo la revisión del estado de las válvulas de vapor.

3. Sustituir el intercambiador de acero del baño 1 al carbono por uno de acero inoxidable. Reparar intercambiador baño 2

4. Incluir en preventivo análisis de conductividad en los condensados de salida de los intercambiadores.

5. Instalar un extractor adicional en el lado de la fotocélula y barreira de seguridad.
OPL

6. Revisar si hay fugas en colector y barras de enjuague

7. Realizar SOP de revisión colector

8. Marcar el nº de barra en su posición

9.5 Estandarización.

Estándar de revisión de válvulas:

CONSUMOS DE AGUA Y ENERGIA EN ENVASADO. CLUSTER RETORNABLE									
Nº	MAQUINA	TAREA	Comprobar:		FREC.	CUANDO	RESULT. (C/I)	Semana:	Nombre:
			CORRECTO	INCORR.					
14	Lavadora 84	Comprobar que los by-pass de agua fría estén cerrados y válvula pequeña de la reguladora este abierta	Cerradas	Abiertas	Semanal	Turno Día	L M X J V		Deben estar Cerradas Debe estar abierta
15	Lavadora 84	Comprobar presión agua fría del último enjuague está entre 0,5 y 1 bar	0,5-0,8 bar	fuera de rango	Semanal	Turno Día	L M X J V		Debe estar entre 0,5 y 0,8 bar

Tabla 14.

Fuente: propia.

Ordenes de mantenimiento preventivo.

CÓDIGO	MÁQUINA	SISTEMA FUNCIONAL	TAREA	ANÁLISIS	PERIODICIDAD												RESPON SABLE	TIEMPO ESTIMADO	CANTIDAD DE PERSONAL	ESTADO DE LA INSTALACI ÓN	FECHA
					ANUAL	SEMANAL	QUINCENAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	SEMANAL	QUINCENAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	SEMANAL					
MPM-3487	LAVADORA DE BOTELLAS	EXTRACTOR DE ETIQUETAS	REVISAR EL DESGASTE Y HOLGURA DE RODAMIENTOS, EJES Y PIONES DEL TRANSPORTE DE MALLA DE EXTRACCIÓN DE SÓLIDOS	ANÁLISIS DE SISTEMAS													MECÁNICO	2 HORAS	1	PARO	OVERHAUL
MPM-3488	LAVADORA DE BOTELLAS	EXTRACTOR DE ETIQUETAS	REVISIÓN DE LA SUJECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR DE TRACCIÓN, HOLGURA DE EJE Y RODAMIENTOS Y POSIBLES FUGAS DE ACEITE DEL TRANSPORTE DE MALLA DE EXTRACCIÓN DE SÓLIDOS	ANÁLISIS DE SISTEMAS													MECÁNICO	1 HORA	1	PARO	OVERHAUL
MPM-3489	LAVADORA DE BOTELLAS	CALENTAMIENTO DE BAÑOS	REVISAR DESGASTE Y POSIBLES FUGAS DE AIRE EN LAS VALVULAS NEUMÁTICAS DEL CALENTAMIENTO DE BAÑOS	ANÁLISIS DE SISTEMAS													MECÁNICO	30 MINUTOS	1	PARO	OVERHAUL
MPM-3490	LAVADORA DE BOTELLAS	CALENTAMIENTO DE BAÑOS	REVISAR EL DESGASTE DE LAS VALVULAS MANUALES DEL CALENTAMIENTO DE BAÑOS	ANÁLISIS DE SISTEMAS													MECÁNICO	2 HORAS	1	PARO	OVERHAUL
MPM-3491	LAVADORA DE BOTELLAS	CALENTAMIENTO DE BAÑOS	REVISAR POSIBLES FUGAS EN LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR DEL CALENTAMIENTO DE BAÑOS	ANÁLISIS DE SISTEMAS													MECÁNICO	30 MINUTOS	1	MARCHA	OVERHAUL
MPM-3495	LAVADORA DE BOTELLAS	GENERAL DE CONTROL	REVISAR EL DESAJUSTE O ROTURA DE LA FOTOCELULA DE SEGURIDAD DE ENTRADA	ANÁLISIS DE SISTEMAS													ELECTRICISTA	30 MINUTOS	1	PARO	OVERHAUL

Tabla 15.

Fuente: propia.

CÓDIGO	MÁQUINA	SISTEMA FUNCIONAL	TAREA	ANÁLISIS	PERIODICIDAD												RESPON SABLE	TIEMPO ESTIMADO	CANTIDAD DE PERSONAL	ESTADO DE LA INSTALACI ÓN	FECHA	OPL
					ANUAL	SEMANAL	QUINCENAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	SEMANAL	QUINCENAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	SEMANAL						
MPM-3527	LAVADORA DE BOTELLAS	ENTRADA DE BOTELLAS	REVISAR POSICIÓN DE LA LEVA DE SINCRONISMO DE ENTRADA	PM46													MECÁNICO	15 MINUTOS	1	PARADO	CALENDARIO	
MPM-3529	LAVADORA DE BOTELLAS	SALIDA DE BOTELLAS	REVISAR ESTADO DE DESGASTE DE LOS DEDOS DE DESCARGA	PM46													MECÁNICO	1 HORA	1	PARADO	CALENDARIO	
MPM-3530	LAVADORA DE BOTELLAS	SALIDA DE BOTELLAS	INSPECCIÓN ESTADO DEL ESTADO DEL ACOPLAMIENTO Y LA GOMA	PM46													MECÁNICO	1 HORA	2	PARADO	CALENDARIO	
MPM-3569	LAVADORA DE BOTELLAS	CALENTAMIENTO DE BAÑOS	REVISIÓN DE FUGAS EN LOS SERPENTINES DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR. TOMANDO MUESTRA DE SODA	ANÁLISIS DE SISTEMAS													MECÁNICO	5 MN	1	MARCHA	CALENDARIO	

Tabla 16:

Fuente: propia.

OPL (One Point Lesson) mejora en la extracción de vapores a la salida de la máquina:



		TPM Fábrica Madrid	
LECCIÓN DE UN PUNTO		Equipo : FI 97	
TÍTULO	REDUCCIÓN DE CONSUMO AGUA EN LAVADORA BOTELLAS L84. EXTRACCION DE VAPORES	Número :	
		Fecha elaboración : 13/04/2015	
		Elaborado por : Iván Morales	
CLASIFICACIÓN : Conocimiento básico <input type="checkbox"/> Mejoras <input checked="" type="checkbox"/> Problema <input type="checkbox"/>		Máquina : Lavadora botellas	
<p>ANTES : Sólo había un extractor para la extracción de vapores. Por diseño es insuficiente</p>  <p>AHORA: 2 extractores instalados en los extremos para facilitar la extracción de vapores</p>  <p>MEJORA : ahorro del equipo de 2.000 m3 de agua al mes</p>			
Dificultad : baja		Revisado por : Antonio Lobo Fecha : 15/04/2015	Aprobado por: Manuel Quesada Fecha : 15/04/2015

Imagen 36.

Fuente: propia.

Procedimiento SOP para la comprobación de fugas en los intercambiadores de calor:












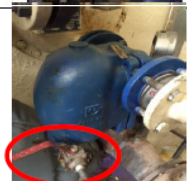

 PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR		TPM Fábrica Madrid
TÍTULO SOP COMPROBACIÓN FUGAS INTERNAS EN INTERCAMBIADOR TUBULAR		Equipo : FI 97 Número : Puesto: L84 Máquina Lavadora de botellas L84
Elaborado por: Antonio Lobo Fecha: 15-04-15	Revisado por: Ivan Morales Fecha: 15-04-15	Aprobado por: M. Quesada Fecha: 15-04-15
<p>Realizar todas las actividades con los EPIS correspondientes Parar la máquina antes de acceder a ella Extremar las precauciones al subirse y bajarse a los baños por riesgo de caída, ayudarse de la escalera correspondiente</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="display: flex; gap: 5px;">       </div> </div>		
OBJETIVO: Comprobar si un intercambiador tubular de un baño está fugando		
CONSIDERACIONES: Es necesario que la máquina esté con los baños de sosa y Agua caliente llenos. Puede hacerse a máquina en marcha, pero si las 2 válvulas se pasan a la entrada o el purgador y válvula de retención se pasaran habría que cerrar las generales de vapor y condensado para la prueba.		
	Comprobar que el baño está lleno para hacer la prueba	
	Cerrar las válvulas manuales y automáticas	
	Comprobar que la válvula automática cierra bien y no se pasa para la prueba	
	Abrir la válvula, esperar un rato y tomar la muestra para medir conductividad. Si el resultado de la muestra es superior a 1000uS/cm, tenemos contaminación	
	si las 2 válvulas de entrada de vapor se pasan o el purgador y válvula de retención se pasan, habría que cerrar las generales de vapor y condensado y volver a repetir la prueba.	
<p>Observaciones: Importante no olvidar usar guantes. Es necesario que la máquina esté con los baños de sosa y Agua caliente llenos.</p>		

Imagen 37.

Fuente: propia.

Procedimiento SOP para la comprobación de fugas en el colector de enjuague de la lavadora:

HEINEKEN		PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR		TPM Fábrica Madrid	
TÍTULO SOP COMPROBACIÓN COLECTOR DE ENJUAGUE		Equipo : FI 97			
		Número :			
		Puesto: L84			
		Máquina Lavadora de botellas L84			
Elaborado por: Antonio Lobo Fecha: 15-04-15		Revisado p Ivan Morales Fecha : 15-04-15		Aprobado por : M. Quesada Fecha : 15-04-15	
<p>Realizar todas las actividades con los EPIS correspondientes Parar la máquina antes de acceder a ella Extremar las precauciones al subirse y bajarse a los baños por riesgo de caída, ayudarse de la escalera correspondiente</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="display: flex; gap: 10px;">       </div> </div>					
OBJETIVO: Comprobar si el colector de enjuague tiene fugas					
CONSIDERACIONES: Se requiere la máquina parada					
		Desmontar las 3 barras del colector de enjuague			
		Comprobar unión barras-colector			
		Colocar chapas para tapar salida			
		Abrir válvula de agua manualmente para comprobar que el colector y unión no fugue			
<p>Observaciones: Si colector fuga, soldar. Si por la unión fuga, verificar junta</p>					

Imagen 38.

Fuente: propia.

10. LAVADORA DE CAJAS

10.1 Desgloses y descripción del problema.

Desde el comienzo del proyecto, el mes de febrero hasta el comienzo del análisis de la máquina el desglose muestra un consumo medio en la lavadora de 0,5 HI/HI línea:

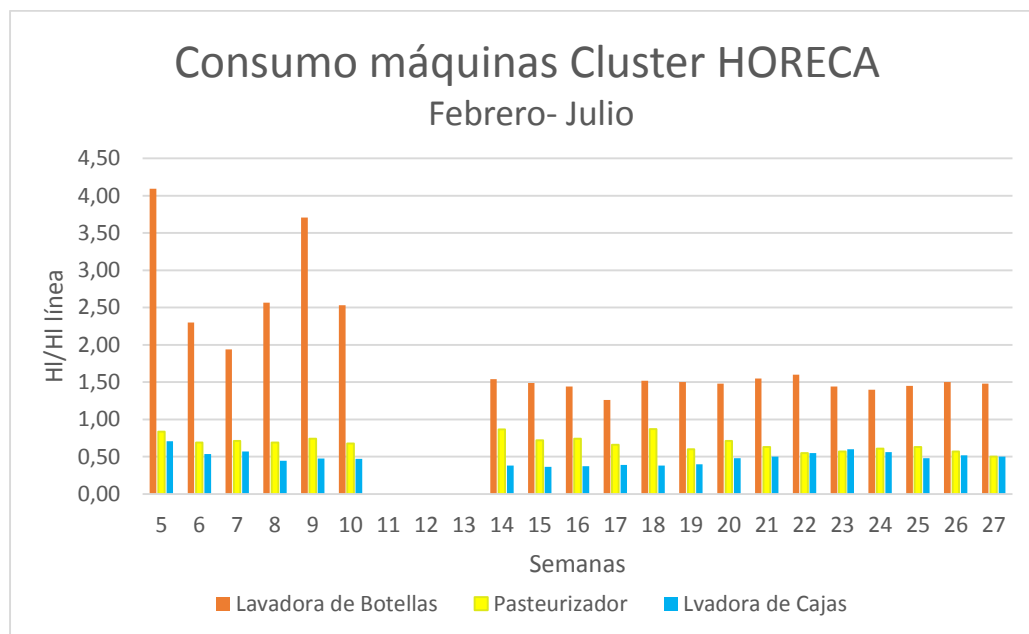


Tabla 15.

Fuente: propia.

Recopilando información acerca de la máquina, en los meses anteriores a la realización de este proyecto, con el objetivo de reducir averías en los transportes internos y disminuir el consumo de la máquina. Se decide vaciar el baño sumergido y anular por programación las bombas quedando únicamente activo el último enjuague de la máquina. En condiciones de operación las cajas entran en la máquina y únicamente son lavadas por el último enjuague. En un principio, se ahorraría el consumo del aporte al baño sumergido y se evitarían averías derivadas de tener transportes constantemente mojados.

A pesar de todo, el consumo sigue siendo elevado por lo que realizaremos un estudio de la máquina.

10.2 Principio de funcionamiento y restauración de condiciones iniciales.

10.2.1 Principio de Funcionamiento.

La lavadora de cajas es una máquina que consume principalmente agua y energía térmica. La lavadora consta de dos entradas de agua limpia, una al aporte del baño sumergido y otra al último enjuague siendo esta la principal consumidora. En su interior las cajas vacías llegan por dos calles de transportes y sufren una serie de procesos que se redactan a continuación para garantizar su limpieza.

La entrada de cajas se produce por la parte inferior y a partir de ahí sigue el proceso siguiente:

1. Inmersión en baño de Sosa (remojo turbulento) con canales de aspiración por bombeo. Las cajas son empujadas por la impulsión del agua con sosa hasta llegar al primer volteador que las sube al nivel intermedio gracias a la acción de unas cadenas engomadas y la presión que ejercen unas cajas con otras.
2. Las cajas pasan por el nivel intermedio y se les inyecta sosa procedente del baño de Inmersión (Inyección principal) hasta que llegan al segundo volteador que funciona de la misma manera que el primero.
3. Se vuelve a inyectar la disolución de sosa y agua, posteriormente se dejan escurrir durante 2 metros de transporte aproximadamente para concluir con dos enjuagues de agua, el primero procedente de la bandeja de recogida de agua clara de la red que está situada justo debajo del transporte superior y que se llena a través de la inyección del segundo y último enjuague.

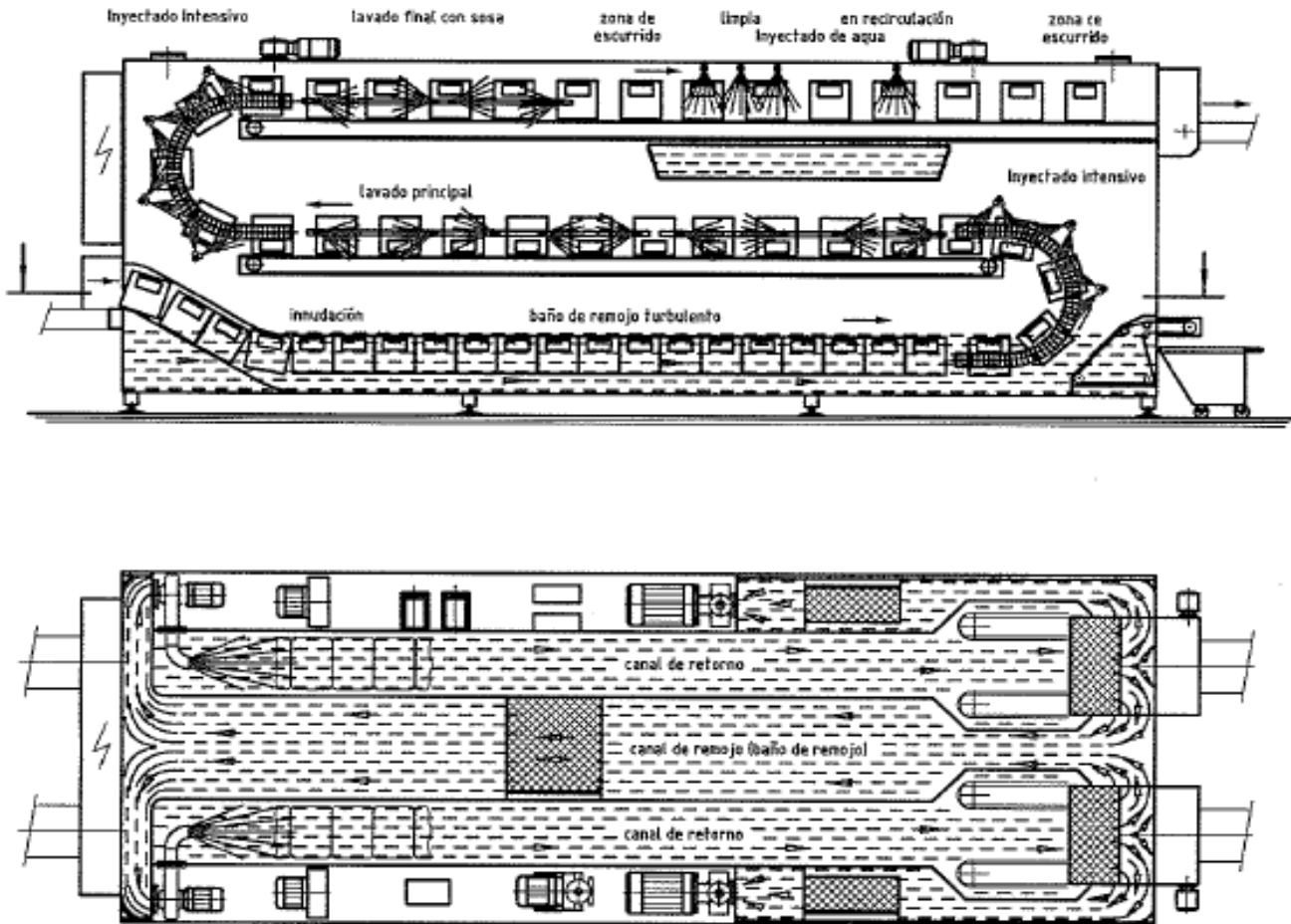


Imagen 39.

Fuente: manual de BOHRE MASCHINENB.

La bomba de transporte (en zona de bombas en el lado de entrada), mueve y recircula la solución de Sosa del baño de inmersión a través de la extracción automática de suciedad (parte inferior en lado de salida). En la zona central de la máquina (canal de remojo) se encuentra un intercambiador de calor tubular que calienta la disolución de sosa y agua. Toda la disolución utilizada a lo largo del proceso es a alta temperatura.

La suciedad en el baño de inmersión es extraída en continuo por el extractor de suciedad (al final del baño de inmersión) mediante la continua circulación de una malla filtrante con soplado de aire (soplador en área de bombas, lado trasero de la máquina)

La bomba de inyección principal extrae la solución de Sosa desde el baño de inmersión a través del extractor automático de suciedad y la reparte a través de unos canales de presión (tuberías) hacia los inyectores. Tanto delante de la bomba de inyección principal como de la de transporte existen unos tamices filtrantes como protección

adicional. El agua del enjuague final se recoge en una bandeja situada debajo del transportador superior y es utilizada por la bomba para la post-inyección (el primer enjuague con agua limpia tras las inyecciones de sosa).

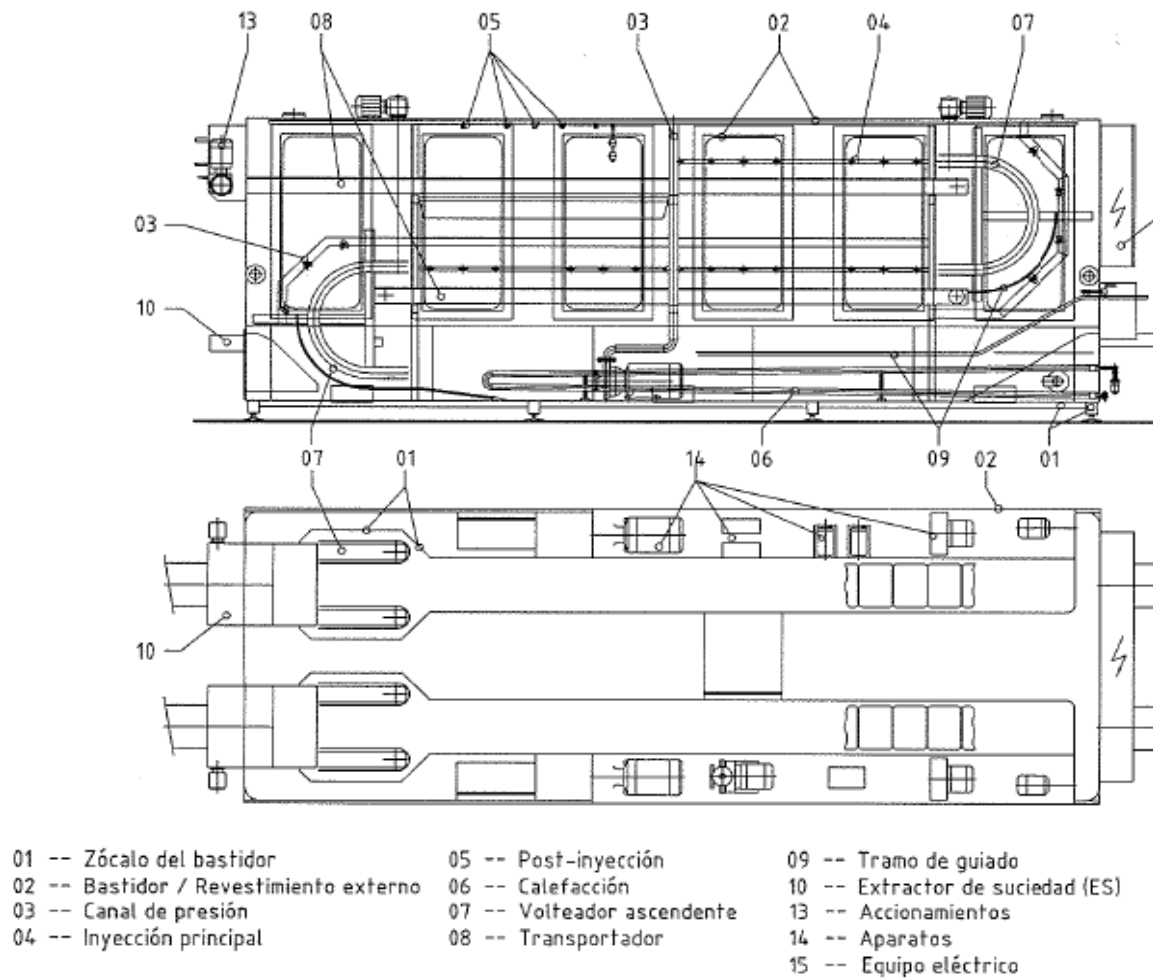


Imagen 40.

Fuente: manual de BOHRE MASCHINENB.

10.2.2 Esquema de Flujo.

Esquema de flujo

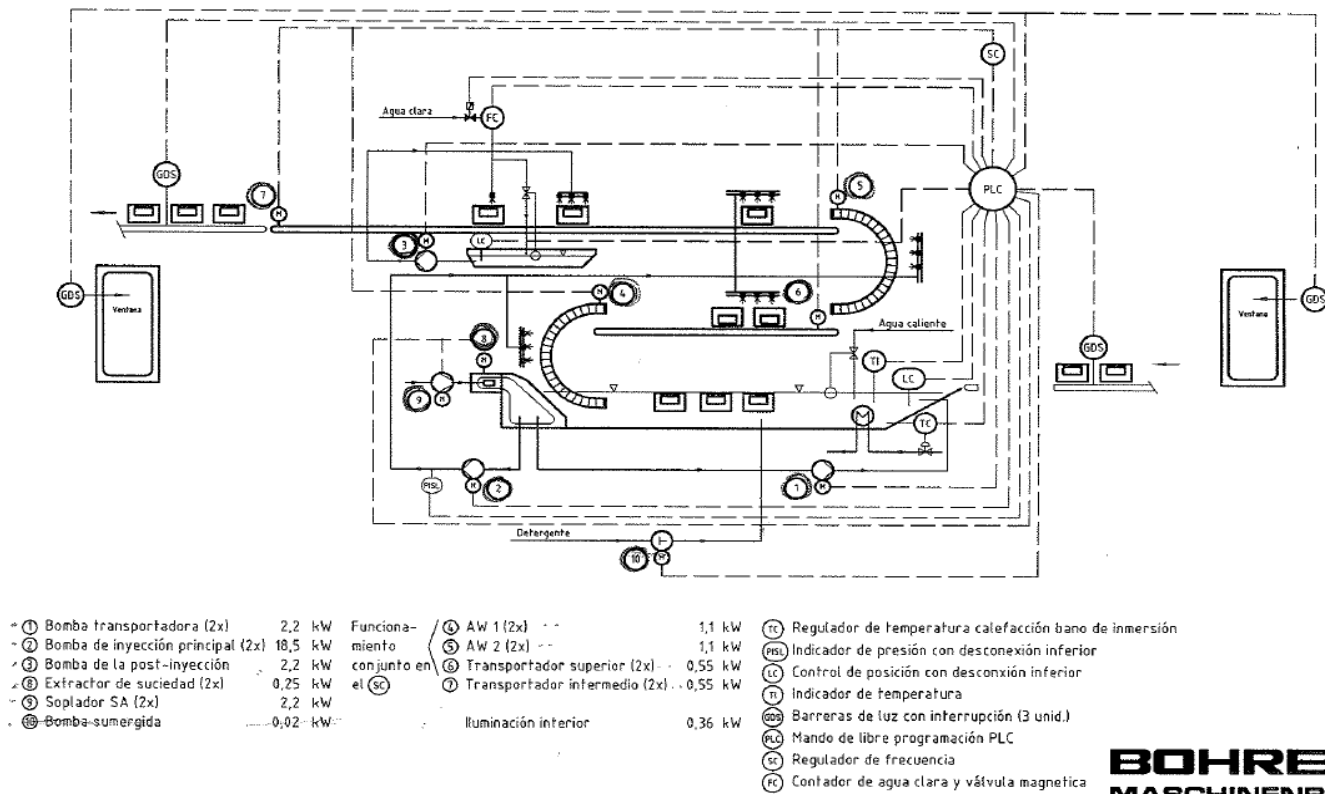


Imagen 41.

Fuente: manual de BOHRE MASCHINENB.

La lavadora de cajas está equipada con un sistema de dosificación automática de Sosa para mantener la concentración prefijada. Una bomba de dosificación añade la solución de Sosa en función del caudal/contador situado en la zona de entrada de agua clara. Concentración recomendada es de un 0,2-0,5%, comprobando que no queda alcalinidad residual. El volumen del baño de Inmersión es de 7m3.

1. Bomba transportadora. Recircula la solución de Sosa desde la salida del extractor de suciedad y el baño de inmersión
2. Bomba de Inyección Principal. Alimenta a los inyectores del nivel intermedio y primeros del nivel superior con sosa procedente del baño de inmersión
3. Bomba post-inyección. Alimenta los inyectores previos al último enjuague con agua clara desde una bandeja de recogida situada debajo de los inyectores de post-inyección y agua clara (Nivel superior en salida de cajas).

4. Extractor de Suciedad (8 en esquema). Mantiene limpio el baño de inmersión (malla filtrante)

5. Soplador (9 en esquema). Limpieza malla filtrante de extractor de suciedad.

10.2.3 Restaurar condiciones iniciales.

Una vez entendido el funcionamiento de la máquina en condiciones de diseño, el primer paso es volver a hacer funcionar la máquina tal y como está pensada, para eso se vuelven a activar las bombas en el programa, también se restaura el paso de vapor por el intercambiador y se llena el baño sumergido completando así todo el proceso completo de la lavadora.

Lista de operaciones para restaurar condiciones iniciales en el área de la lavadora.

Tras la restauración de condiciones iniciales, el consumo aumenta en torno a 0,1 HI/HI línea.

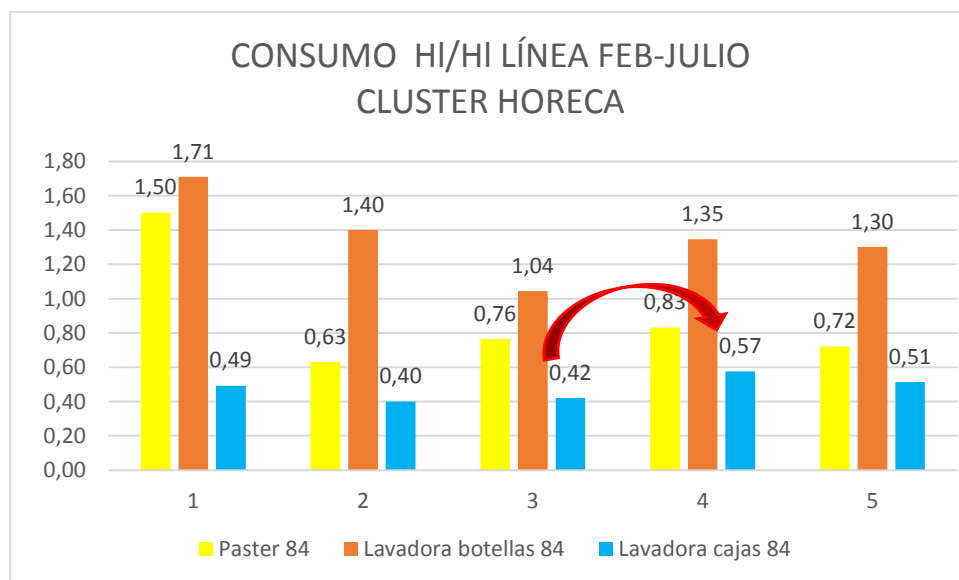


Gráfico 14.

Fuente: propia.

10.3 Análisis e implementación de mejora.

Para reducir el consumo energético de la lavadora, por un lado hay que atacar el principal consumidor de la máquina, la inyección del enjuague. Y en el ámbito de la térmica, el intercambiador de calor y las temperaturas del baño.

Respecto al consumo de agua, realizaremos dos análisis de 5 por qué. Estableciendo como modo de pérdida la presión de inyección del enjuague y las condiciones de funcionamiento del mismo.

Modo de fallo/ pérdida	¿Por qué?	Rel	¿Por qué?	Rel	¿Por qué?	Rel	¿Por qué?	Rel	¿Por qué?	Rel	Acción
Presión de enjuague excesiva	Entrada únicamente regulada por electroválvula.	si	Acometida directa de la red.	si	Está diseñada de esta manera	si	Presión de la red suficiente para abastecer el enjuague. (2bares)	si	si	si	1.Reducir presión de enjuague
	Picos de presión de la red de agua	no									

Tabla 16.

Fuente: propia.

Del análisis extraemos la necesidad de reducir la presión del enjuague. Por la configuración de la instalación de agua de la fábrica, la presión que lleva el agua en la instalación hace que llegue a la lavadora de cajas en torno a los 2 bares. Esta presión es más que suficiente para enjuagar las cajas ya que los inyectores están muy cerca del transporte superior por donde pasar las cajas como se puede apreciar en fotografía 19.



Fotografía 19.

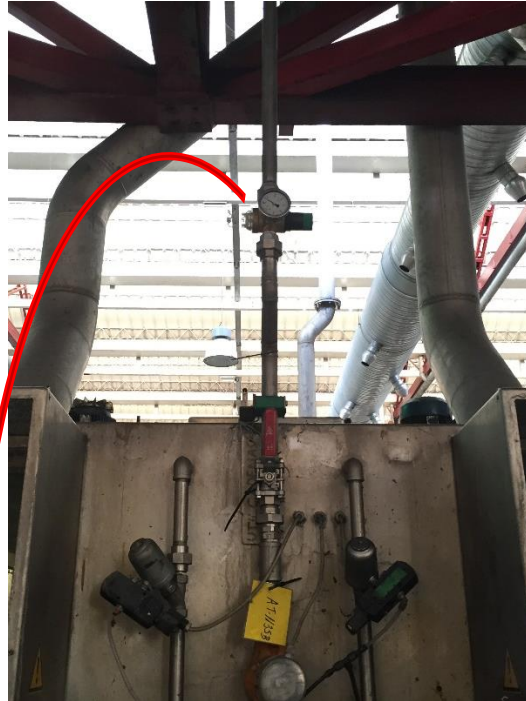
Fuente: propia.

Para reducir la presión de enjuague lo más eficaz es instalar una válvula reguladora de presión manual. Las válvulas reguladoras de presión deben colocarse lo suficientemente alejadas de codos y cambios de sección de las tuberías para que la medida que marcan sea la correcta pero a la vez deben estar lo suficientemente cerca de la aplicación para la cual se instalan. De lo contrario la pérdida de carga aumentará más de lo deseado y las presiones caerán.



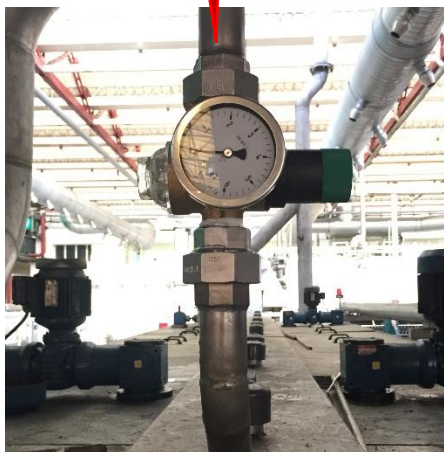
Fotografía 20.

Fuente: propia.



Fotografía 21.

Fuente: propia.



Fotografía 22.

Fuente: propia.

La nueva válvula de presión se regula para reducir la presión hasta los 0,4 bares.
Presión suficiente para asegurar un lavado óptimo de las cajas.

Modo de fallo/ pérdida	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	¿Por qué?	Real	AM	Acción
Injectores continuamente funcionando	Válvula no cierra correctamente	no								
	Condiciones de arranque de inyección	si	No se conocen las condiciones de funcionamiento					si		2. revisar condiciones de inyección en programa.

Tabla 17.

Fuente: propia.

Al estudiar el programa de la lavadora de cajas, se puede comprobar en el código que la única condición de apertura de la válvula del ultimo enjuegue es, que el transporte interno de la máquina esté activado.

Los transportes de la lavadora no estan llenos de cajas continuamente puesto que la línea tiene sus microparadas y averias que evitan un continuo flujo de materiales por los trasnportes. Todo el tiempo que no están pasando cajas pero el transporte interno de la máquina se está moviendo, es agua que se está perdiendo si ser utilizada.

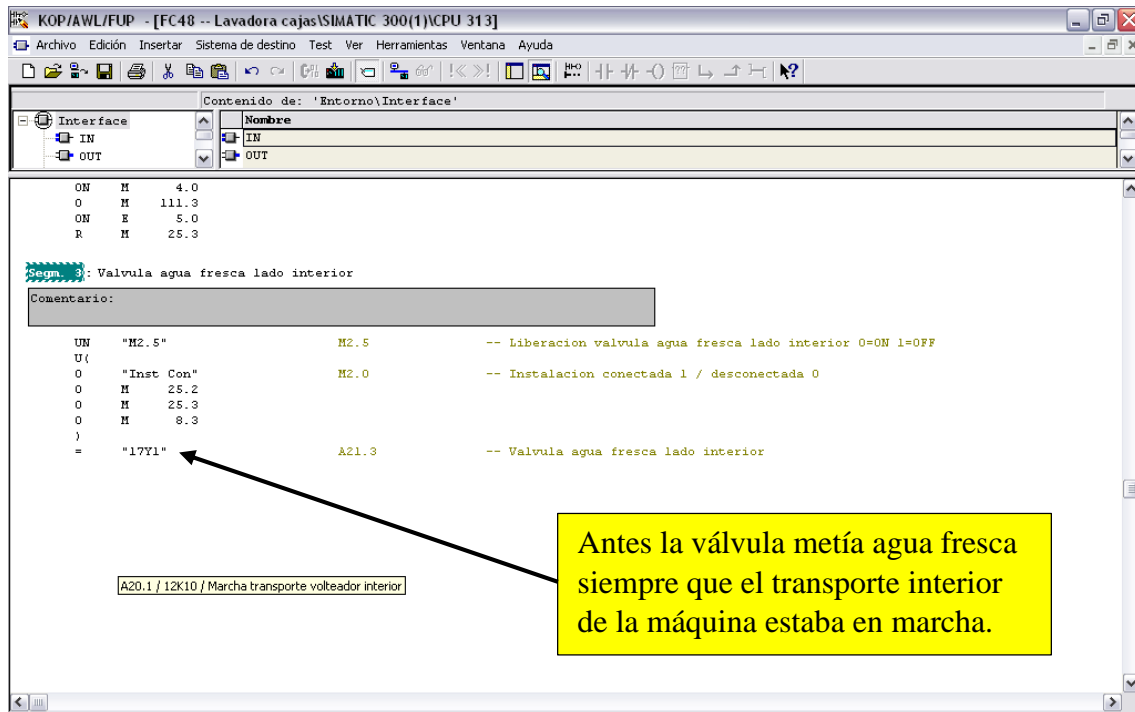


Imagen 42.

Fuente: SIMATIC 300.

Con la modificación del programa, se soluciona este gasto poniendo la condicion de aunque el transporte esté en movimiento, si no se detecta caja a la entrada de la máquina con dos fotocélulas colocadas en el trasporte previo a la entrada, la válvula se corte para no seguir inyectando agua fresca.

Ademas como las cajas tardan del orden de un 1 minuto en llegar al enjuague se ha insertado en el codigo un temporizador que tenga en cuenta este espacio de tiempo que tardan las cajas en llegar a la posición para ser enjuagadas. Evitando de este modo, que si el transporte previo a la entrada de la máquina para de repente por cualquier motivo, las ultimas cajas que puedan haber pasado dentro de la máquina no se queden sin limpiar.

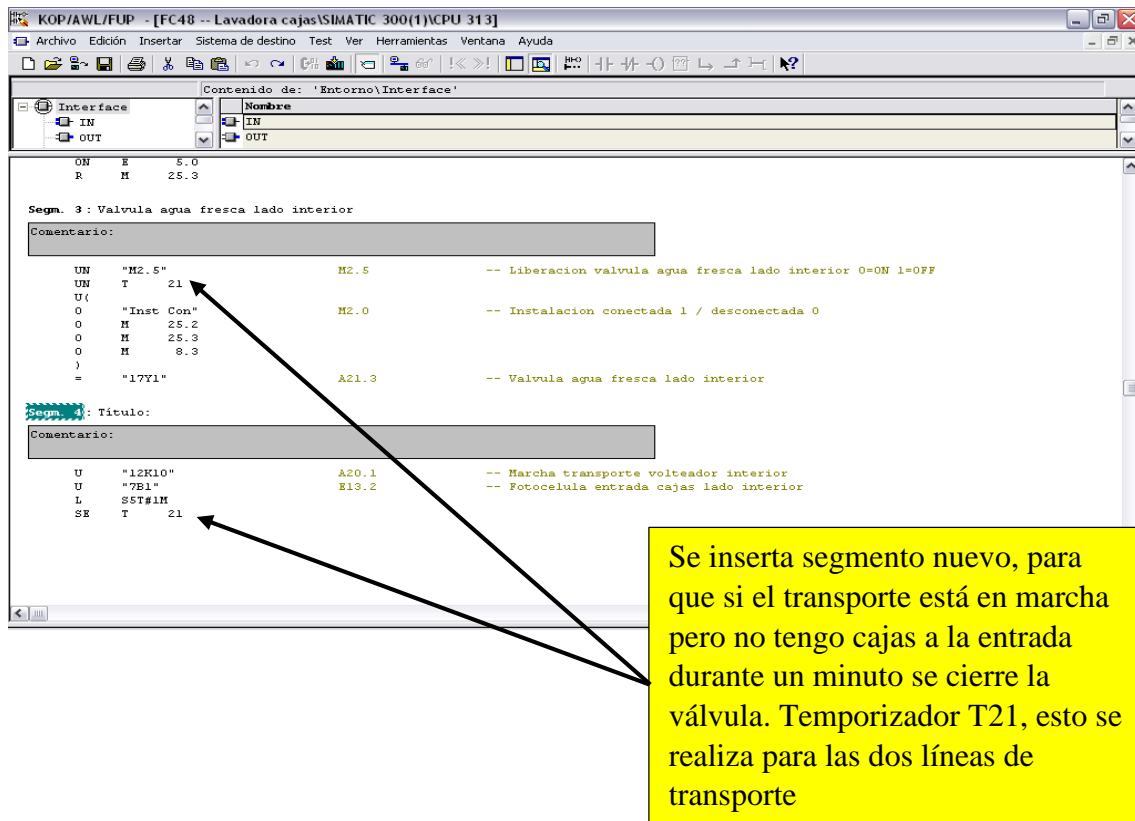


Imagen 43.

Fuente: SIMATIC 300.

En cuanto al consumo de energía térmica, la lavadora cuenta con un intercambiador de calor tubular que recorre toda la parte central del baño sumergido de la máquina. Por los tubos circula vapor que al igual que en el resto de las máquinas térmicas de la línea, llega procedente de las calderas.

Para comprobar el funcionamiento del intercambiador se abre y se comprueba la existencia de fugas.

El intercambiador, al ser bastante largo tiene unas guías para los tubos. Estas guías van soldadas a los tubos e impiden deformaciones del intercambiador.

Se encuentra una fuga al sacar el intercambiador en uno de los tubos a la altura de la soldadura con una de las guías.



Fotografía 23.

Fuente: propia.



Fotografía 24.

Fuente: propia.

En un principio, el baño sumergido se encuentra a 80 grados, una temperatura demasiado elevada. Las condiciones de puesta en marcha de la máquina indican una temperatura máxima del baño de 50°C.

10.3.1 Puesta en marcha.

Antes de la puesta en marcha se debe comprobar:

1. Si se han limpiado los tamices situados delante de la bomba de transporte (recirculación entre baño y extractor de suciedad) y bomba de inyección principal
2. Si están cerradas todas las correderas distribuidoras de lavado en el canal de flujo
3. Si está limpia la malla filtrante rotativa del extractor de suciedad
4. Si el nivel del baño de inmersión está a la altura del tubo de rebose
5. Si se ha ajustado la distancia de las cadenas transportadoras (2 volteadores ascendentes) al ancho de caja.

6. Si están cerradas las compuertas y válvulas de descarga

7. Abrir válvulas de paso de entrada al baño de inmersión y agua clara de post-inyección.

8. Se puede calentar el baño de Inmersión a 50°C máx. Controlar Tª en armario eléctrico.

9. Después de llenar el baño de inmersión hay que cerrar la válvula de entrada al baño de inmersión.

10. Poner en marcha el transporte de cajas, desbloquear el transportador (asegurado por barrera de luz en salida)

10.4 Seguimiento de indicadores.

Tras solventar el problema de la fuga del intercambiador y bajar la temperatura del baño sumergido regulando la entrada de vapor al intercambiador, obtenemos durante las semanas de trabajo en la lavadora de cajas unos consumos de:

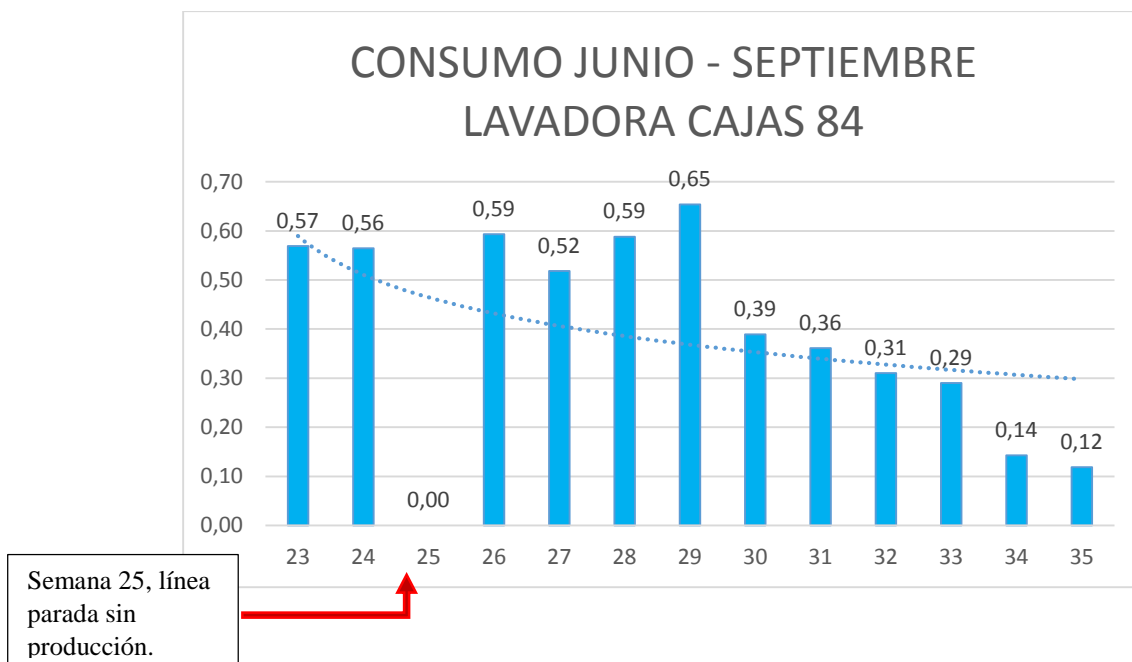


Gráfico 15.

Fuente: propia.

Desde la semana 23 (inicio del mes de Junio) hasta la semana 35 (primera semana de Septiembre) en la que terminamos el estudio. El consumo ha descendido desde los 0,5 HI/HI línea hasta los 0,12 HI/HI línea. Un ahorro de 0,38 HI/HI línea.

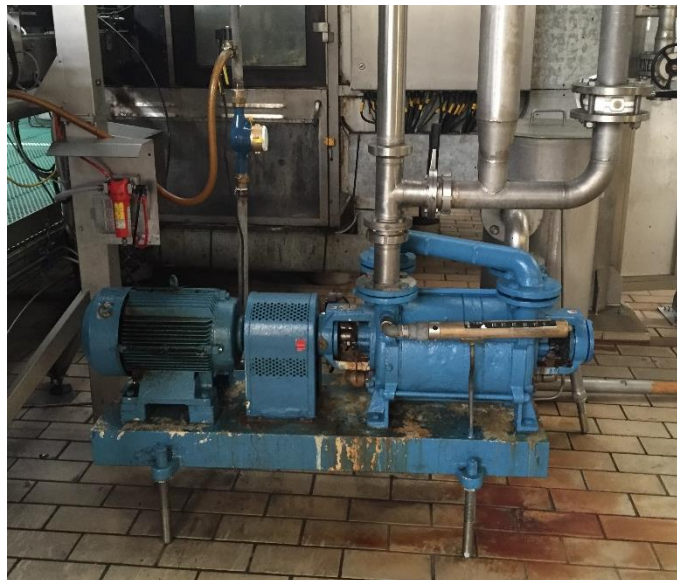
11. BOMBAS DE VACÍO.

Las bombas de vacío instaladas en las llenadoras de la línea son uno de los puntos críticos de consumo que no estaban monitorizados, es decir, el consumo de agua de estas bombas era un desconocido para la fábrica. Por lo que antes de poder analizar si tenían un consumo elevado o no, se procedió a la instalación de contadores de agua.

Una vez montados los contadores de agua en las bombas podemos obtener los desgloses y compararlos con el resto de máquinas.

De los contadores obtenemos que el gasto másico de agua de las bombas de vacío de las llenadoras es de unos $30 \text{ m}^3/\text{día}$ equivalentes a consumir $1,25 \text{ m}^3/\text{h}$. Este dato está muy por encima de lo esperado en cuanto a consumo si atendemos a la ficha técnica de las bombas de vacío.

Para los modelos montados, Bombas SIHI LPH 55316 de 1450 rpm el consumo esperado teniendo en cuenta las condiciones de operación es de $0,8 \text{ m}^3/\text{h}$.



Fotografía 25.

Fuente: propia.

presión de aspiración en mbar		33				120				200				400						
bomba	velocidad rpm	KB			FB	KB				FB	KB				FB	KB				FB
		diferencia de temperatura °C				diferencia de temperatura °C					diferencia de temperatura °C					diferencia de temperatura °C				
		10	5	2		20	10	5	2		20	10	5	2		20	10	5	2	
LPH · 55312	1150	0,33	0,60	1,15	3	0,18	0,33	0,60	1,05	2,4	0,19	0,34	0,60	1,00	2	0,17	0,29	0,48	0,75	1,3
	1450	0,44	0,75	1,40		0,24	0,44	0,75	1,25		0,24	0,44	0,70	1,15		0,23	0,40	0,60	0,90	
	1740	0,60	1,00	1,70		0,33	0,60	0,95	1,50		0,34	0,60	0,90	1,35		0,32	0,50	0,75	1,00	
LPH · 55316	1150	0,36	0,65	1,20	3	0,20	0,37	0,65	1,15	2,4	0,21	0,38	0,65	1,10	2	0,21	0,35	0,55	0,85	1,3
	1450	0,48	0,85	1,45		0,27	0,49	0,80	1,35		0,29	0,50	0,80	1,25		0,28	0,46	0,70	0,95	
	1740	0,65	1,10	1,75		0,38	0,65	1,00	1,55		0,38	0,65	0,95	1,40		0,35	0,55	0,80	1,00	
LPH · 55320	1150				3	0,32	0,55	0,90	1,45	2,4	0,31	0,55	0,85	1,30	2	0,26	0,43	0,65	0,95	1,3
	1450	0,55	0,95	1,60		0,33	0,60	0,95	1,50		0,35	0,60	0,90	1,35		0,32	0,51	0,75	1,00	
	1740	0,75	1,20	1,85		0,40	0,70	1,05	1,60		0,41	0,70	1,00	1,45		0,38	0,60	0,80	1,05	

Ejemplo: LPH · 55316

· **velocidad:**

presión de aspiración:

temperatura de entrada del líquido de servicio para la capacidad de aspiración requerida:

temperatura del agua fresca disponible:

diferencia de temperatura: 18 °C - 13 °C =

flujo del líquido de servicio según tabla: FB =

flujo necesario de agua fresca según tabla: KB (5 °C) =

1450 rpm

120 mbar

18 °C

13 °C

5 °C

2,4 m³/h

0,80 m³/h

Tabla 18.

Fuente: manual de SIHI LPH.

Como se puede apreciar en la tabla que nos proporciona el fabricante. La bomba de vacío trabaja con un fluido en recirculación, en este caso agua, y un aporte de agua cuando la temperatura del fluido recirculante es elevada. Las diferencias de temperaturas de estas dos corrientes determina la cantidad de agua que se consume. A menor temperatura de entrada de agua, mejor vacío es capaz de hacer la bomba.

11.1 Principio de funcionamiento.

Las bombas de vacío succionan un fluido gaseoso encerrado en un volumen a base de crear un vacío parcial. Para nuestro caso particular, vamos a estudiar el funcionamiento de las bombas de vacío de anillo líquido.

Este tipo de bombas utilizan la fuerza centrífuga que proporciona la acción giratoria de los alabes del rotor sobre el agua, para crear un vacío parcial que aspire el fluido gaseoso requerido. Para poder alcanzar mejores presiones de aspiración el líquido recirculante debe tener la menor temperatura posible.

La bomba se pone en funcionamiento por la acción de un motor que hace girar el eje. Se introduce agua por el colector de entrada hasta la cámara del rotor donde es centrifugada creando un anillo líquido con una presión relativa negativa en su interior, es decir menos de una atmósfera. Esta presión negativa es lo que llamamos presión de aspiración y depende de la temperatura del fluido recirculante.

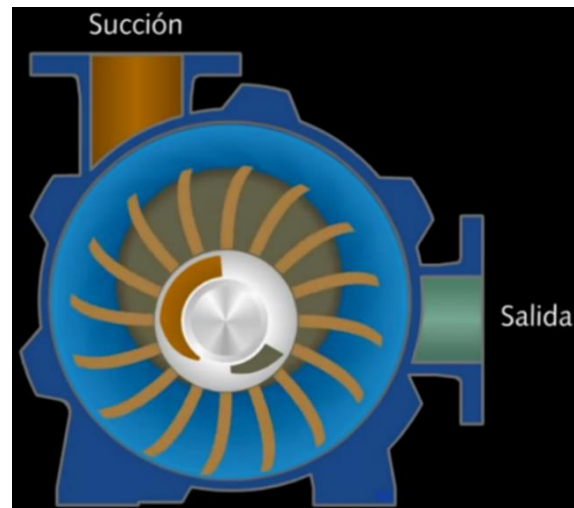


Imagen 44.

Fuente: gdnash, online.

Debido a la diferencia de presión entre el exterior y la presión reducida en el interior del anillo líquido, el gas es aspirado entrando por el colector de aspiración y es conducido hacia las cámaras de la bomba. Llamamos presión de aspiración a la presión negativa que conseguimos dentro del anillo líquido y es función de la temperatura del líquido recirculante.

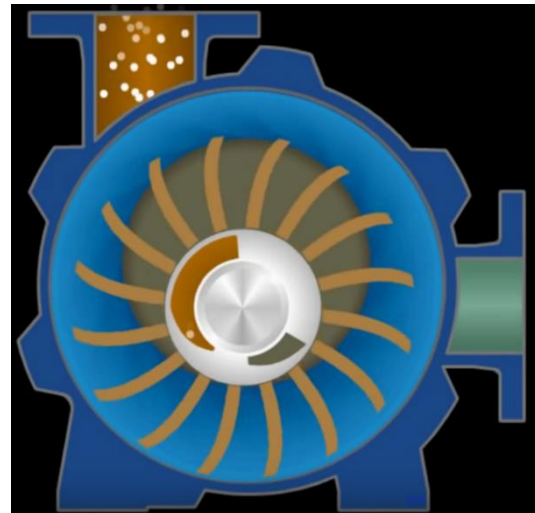


Imagen 45.

Fuente: gdnash, online.

El gas aspirado entra en las cámaras del rotor por la inferior del rotor. La geometría de las cámaras provoca una expansión del gas cuando llegan a la parte superior de la vuelta y finalmente el gas es comprimido cuando completa la vuelta del rotor. Al comprimir el gas aumenta la temperatura por lo que el agua del anillo se calienta.

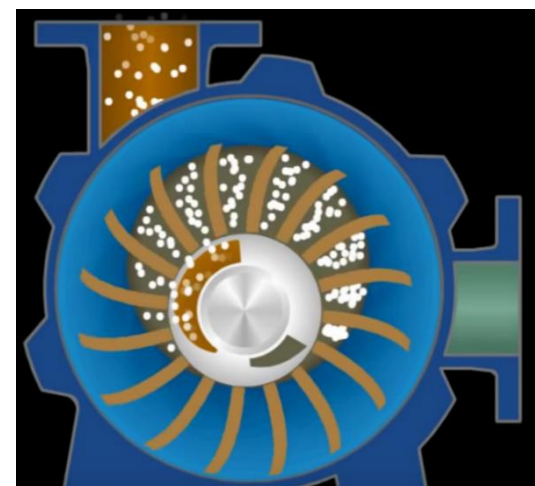


Imagen 46.

Fuente: gdnash, online.

Producto de esta compresión el gas sale impulsado fuera de las cámaras del rotor por el colector de salida.

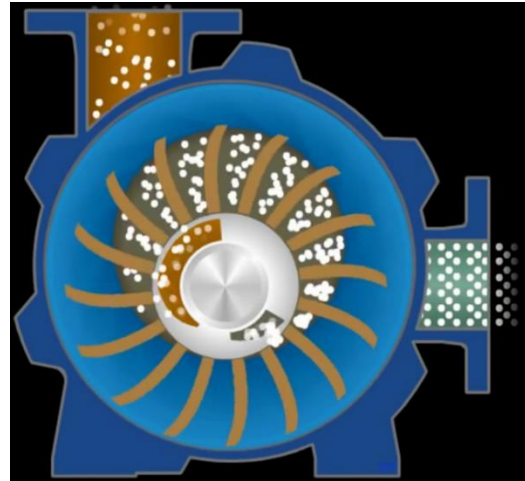


Imagen 47

Fuente: gdnash, online.

En cuanto al macrofuncionamiento del sistema de la bomba de vacío de las llenadoras. Las botellas entran en la llenadora donde quedan acopladas a los grifos de la misma. En primer lugar, para que el proceso de llenado sea correcto, hay que aspirar todo el aire que lleva la botella y con él también todo los posibles restos de líquido que puedan traer de los pasos previos. El aire es aspirado por la bomba de vacío como ya se ha explicado y sale del colector de salida junto con el agua en recirculación hacia el calderín donde se separan por gravedad, el agua es almacenada para ser devuelto a la bomba de vacío y el aire sale del sistema.

En la imagen 48 podemos ver la disposición del sistema, la bomba de vacío, con el colector de entrada procedente de la llenadora y el de salida hacia el calderín. El desagüe y la recirculación de agua desde el calderín hasta la bomba con la entrada de agua de la red comandada por una electroválvula.

Representación del proceso bomba de vacío.



Imagen 48.

Fuente: sterlingsihi, online.

Como consecuencia del proceso interno de la bomba, el agua en recirculación se va calentando y como se ha mencionado previamente, la capacidad para hacer vacío de la bomba disminuye, la presión de aspiración absoluta aumenta. Para evitar esto, en el calderín hay una sonda de temperatura regulada a 22°C, en el momento en el que el agua del calderín supere esta temperatura se mande una señal de apertura a la electroválvula de entrada de agua directa de la red.

Este aporte de agua a menor temperatura enfria el sistema y posibilita una mejor capacidad de hacer vacío. Mantener una temperatura baja del líquido en recirculación es clave para el buen funcionamiento del sistema. El agua sobrante es tirada al desagüe.

Representación del funcionamiento del flujo dentro del sistema.

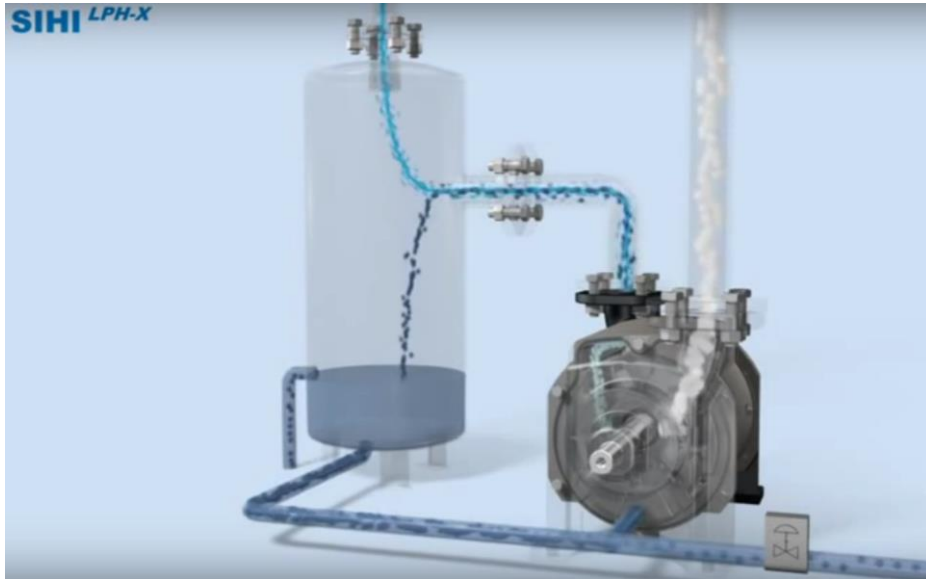


Imagen 49.

Fuente: sterlingsihi, online.

11.2 Análisis de las posibles causas de sobreconsumo.

Los consumos actuales de las bombas de vacío están muy por encima de lo que marca el fabricante para este tipo de bombas. El principal problema con el que nos encontramos a la hora de analizar el consumo es la falta de información. Por ello, el primer paso ha sido el de colocar contadores de agua en la entrada de agua de la red.



Fotografía 26.

Fuente: propia.



Fotografía 27.

Fuente: propia.

Con un consumo diario del orden de $1,3 \text{ m}^3/\text{h}$. El gasto de agua se antoja excesivo y la recuperacion es inexistente por lo que todo el agua que se mete en las bombas es tirado al desagüe.

La primera medida es analizar la máquina en busca de fallos en los componentes. Se encuentra una de las electroválvulas de entrada de agua directa de la red rota, no se cierra correctamente y se pasa agua continuamente. Se sustituye por una nueva. A continuacion se muestran en la imagen 28 la bomba de vacío con la electroválvula nueva instalada en la entrada de agua y en la imagen 29 la electroválvula rota.



Fotografía 28.

Fuente: propia.



Fotografía 29.

Fuente: propia.

Por otro lado, se comprueban el buen funcionamiento de la sonda de temperatura y su calibración ya que una mala calibracion de este componente puede hacer que envíe una señal incorrecta de apertura a la electroválvula de agua.

Con todas las comprobaciones hechas la bomba de vacío sigue teniendo un consumo elevado. Todos los estudios realizados demuestran que la sonda de temperaturas manda abrir la electroválvula de entrada de agua de la red, agua mas fría, porque se sobrepasa la temperatura del SET POINT que tiene fijada (22°C). En principio la solucion mas coherente sería subir la temperatura del SET POINT para que, aunque la temperatura del agua en circulación subiera, la sonda de temperatura no mandase abrir la válvula de entrada de agua fría. El problema de esta solución es que al aumentar la temperatura del fluido en circulación,

se reduce la capacidad de la bomba para hacer vacío por lo que esta solución resulta poco eficiente.

El principal problema en cuanto al exceso de consumo de la bomba es el siguiente. En un principio la entrada de agua de la red a la bomba era directamente agua del Canal de Isabel II, este agua estaba a una temperatura de aproximadamente 18°C. El problema que nos encontramos al realizar este proyecto es que hace unos años atrás se sustituyó este agua directa del Canal por un agua que previamente es tratada en la planta de osmosis inversa que la fábrica tiene en sus instalaciones.

El agua que antiguamente entraba de la red, ahora pasa por la planta de osmosis y debido al proceso sale a una mayor temperatura y llega a las bombas de vacío a alrededor de 20-21°C. Esta es la razón por la cual la entrada de agua para refrigerar la bomba está gran parte del tiempo abierta y por lo tanto consumiendo en exceso. Al cambiar las condiciones de operación también han cambiado los consumos que el fabricante estipula.

Debido a la imposibilidad de volver al sistema anterior previo a la planta de ósmosis inversa, se propone la mejora de instalar un refrigerador de agua para evitar sobrecalentamientos del sistema, mejorar la capacidad de vacío de la bomba y reducir el consumo de agua drásticamente.

La idea principal de la mejora es hacer pasar el fluido que sale de la bomba de vacío por un intercambiador de calor, que en este caso sería el termorefrigerador, y enfriarlo antes de devolverlo a la bomba de vacío. Manteniendo así, un sistema cerrado en que el aporte de agua sea mínimo. En las siguientes imágenes se muestran como quedaría el macroproceso de la bomba de vacío.

Representación del proceso bomba de vacío con termorefrigerador.

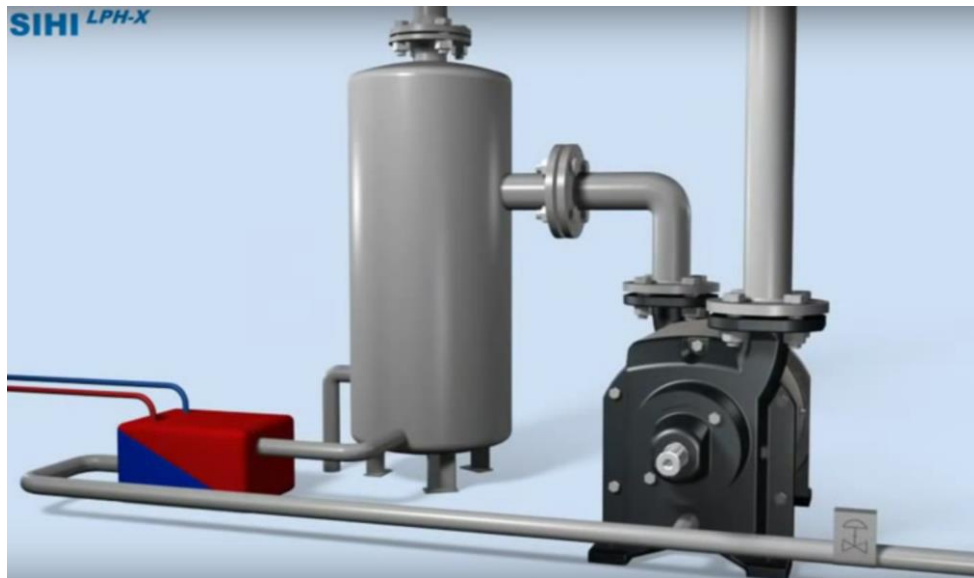


Imagen 50.

Fuente: *sterlingsihi, online.*

Representación del flujo interno del proceso.

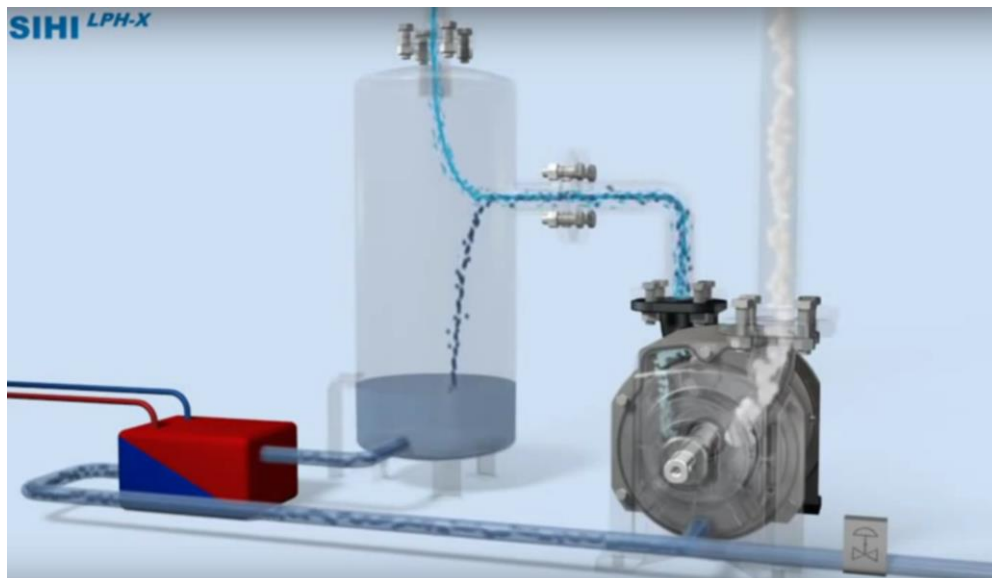


Imagen 51.

Fuente: *sterlingsihi, online.*

11.3 Estudio para la implantación de un termorrefrigerador.

El objetivo es reducir el consumo de agua reduciendo la temperatura del fluido de trabajo. Bajar de los 20°C actuales de entrada de agua y acercarnos a los 5°C para conseguir un salto térmico de aproximadamente 15°C, el equivalente a reducir tres veces el consumo actual. Interpolando con la tabla que nos ofrece el fabricante de las bombas de vacío, conseguiríamos un consumo cercano a los $0.27 \text{ m}^3/\text{h}$. Es decir, $0.9 \text{ m}^3/\text{h}$ de ahorro de agua.

presión de aspiración en mbar		33				120				200				400						
bomba	velocidad rpm	KB			FB	KB			FB	KB			FB	KB			FB			
		diferencia de temperatura °C				diferencia de temperatura °C				diferencia de temperatura °C				diferencia de temperatura °C						
		10	5	2		20	10	5		2	20	10		5	2	20		10	5	2
LPH · 55312	1150	0,33	0,60	1,15	3	0,18	0,33	0,60	1,05	2,4	0,19	0,34	0,60	1,00	2	0,17	0,29	0,48	0,75	1,3
	1450	0,44	0,75	1,40		0,24	0,44	0,75	1,25		0,24	0,44	0,70	1,15		0,23	0,40	0,60	0,90	
	1740	0,60	1,00	1,70		0,33	0,60	0,95	1,50		0,34	0,60	0,90	1,35		0,32	0,50	0,75	1,00	
LPH · 55316	1150	0,36	0,65	1,20	3	0,20	0,37	0,65	1,15	2,4	0,21	0,38	0,65	1,10	2	0,21	0,35	0,55	0,85	1,3
	1450	0,48	0,85	1,45		0,27	0,49	0,80	1,35		0,29	0,50	0,80	1,25		0,28	0,46	0,70	0,95	
	1740	0,65	1,10	1,75		0,38	0,65	1,00	1,55		0,38	0,65	0,95	1,40		0,35	0,55	0,80	1,00	
LPH · 55320	1150	0,55	0,95	1,60	3	0,33	0,55	0,90	1,45	2,4	0,31	0,55	0,85	1,30	2	0,26	0,43	0,65	0,95	1,3
	1450	0,75	1,20	1,85		0,40	0,70	1,05	1,50		0,35	0,60	0,90	1,35		0,32	0,51	0,75	1,00	
	1740	0,75	1,20	1,85		0,40	0,70	1,05	1,60		0,41	0,70	1,00	1,45		0,38	0,60	0,80	1,05	

Imagen 52.

Fuente: manual de SIHI LPH.

No obstante, como el circuito planteado es cerrado, el aporte de agua queda únicamente supeditado a las pérdidas que el propio sistema genere por lo que el ahorro de agua es del orden de $1,25 \text{ m}^3/\text{h}$. El consumo practicamente integro de la bomba de vacío.

El equipo planteado para instalar es un termorrefrigerador de la marca SMC serie HRS refrigerado por aire. Los termorrefrigeradores son equipos diseñados para mantener constante la temperatura de un fluido. En el diagrama de fluido podemos entender el funcionamiento de los dos circuitos que intervienen en el proceso.

Por un lado, el circuito del fluido en circulación donde, el fluido de trabajo, agua, es calentado al pasar por la bomba de vacío y devuelto al termorrefrigerador, el refrigerador controla que el fluido en recirculación esté a la temperatura de ajuste, para que el termorrefrigerador lo descargue de nuevo a la bomba de vacío. El circuito de refrigeración está controlado por la señal procedente de 2 sensores de temperatura (para retorno y descarga), por lo que se puede conseguir un control preciso de la temperatura del fluido en circulación. Esto permite reducir el tamaño del depósito ya que se consiguen mayores estabilidades térmicas. Como se ve en el diagrama el proceso es cerrado y el gasto de agua en el sistema vendrá determinado unicamente por el aporte de agua para compensar las perdidas que todo sistema tiene.

■ Refrigerado por aire HRS□-A-□

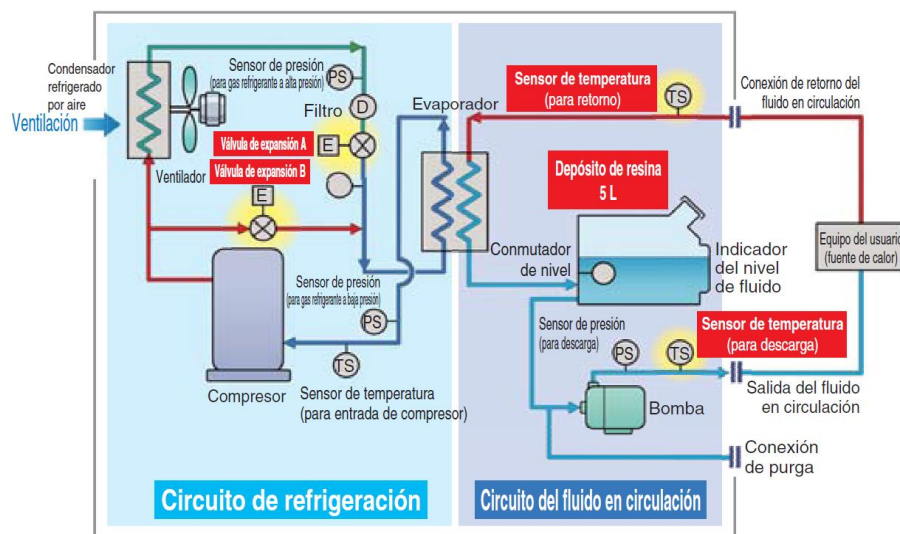


Imagen 53.

Fuente: manual de SMC serie HRS.

Por otro lado, el circuito de refrigeración. El compresor comprime el gas refrigerante y descarga el gas a alta temperatura y alta presión. Este gas es refrigerado

posteriormente en un condensador gracias a la acción de un ventilador, convirtiéndose en líquido. El gas refrigerante a alta presión licuado se expande y su temperatura baja al pasar por la válvula de expansión A y se evapora cogiendo calor del fluido en circulación del evaporador. El gas refrigerante evaporado es succionado al compresor, donde se comprime de nuevo.

Alguno de los principales motivos de la instalación de este tipo de maquinaria es que son equipos con un coste bajo, de instalación y mantenimiento sencillo y muy eficientes, con la particularidad de poder regular la temperatura deseada de manera rápida y fácil. Los termorrefrigeradores son equipos con gran cantidad de aplicaciones en la industria, entre ellas la refrigeración de bombas.

Serie HRS	
Ejemplos de aplicación	
	Fuente de calor
Equipo de soldadura por arco	Antorcha
Equipo de soldadura por resistencia	Punta
Equipo de soldadura por láser	Oscilador
Dispositivo de endurecimiento por UV	LED
Instrumental de rayos X	
Microscopio electrónico	Lente
Marcador láser	Oscilador
Máquina de inspección de ondas ultrasónicas	
Atomizador/Equipo de pulverizado	Cuchilla
Motor lineal	Motor
Equipo de embalaje (productos alimenticios)	Troquel/Partes soldadas
Refrigeración de moldes	Molde
Control de temperatura de material adhesivo y de pinturas	Material de pintura/Material de soldadura
Refrigeración de bomba de vacío	Bomba
Máquina de ajuste por contracción	Pieza
Armario de botellas de gas	
Equipo de concentración	Líquido de prueba
Equipo de refrigeración de reactivos	Reactivo
Máquina de limpieza (a base de hidrocarburos)	Depósito de limpieza
Maquinaria de impresión	Rodillo
Cámara de electrodos	Electrodo
Equipo de calefacción por inducción a alta frecuencia	Suministro eléctrico/Bobina de calefacción

5



Imagen 54.

Fuente: manual de SMC serie HRS.

11.4 Estudio de capacidad de refrigeración.

Para poder elegir uno de los modelos que ofrece el fabricante debemos calcular la capacidad de refrigeración necesaria para nuestras bombas.

$$Q = q_m \cdot C \cdot (T_2 - T_1)$$

Conociendo los valores de temperatura a la entrada y salida de la bomba y el caudal volumétrico.

Cantidad de calor generada por la bomba Q	: [W]= [J/s]
Fluido en circulación	: agua
Densidad del fluido en circulación ρ	: [1kg/dm ³]
Caudal volumétrico del fluido en circulación q_v	: 1,25 m ³ /h = 0,35 dm ³ /s
Calor específico del fluido en circulación C	: 4,18· 10 ³ [J/kg K]
Caudal másico de fluido en circulación q_m	: (= ρ · q _v) [kg/s]
Temperatura de entrada del fluido en circulación T₁	: 20[°C] = 293 [K]
Temperatura de salida del fluido en circulación T₂	: 22[°C] = 295 [K]

$$Q = \rho \cdot q_v \cdot C \cdot (T_2 - T_1)$$

$$Q = 1 \frac{kg}{dm^3} \cdot 0.35 \frac{dm^3}{s} \cdot 4,18 \cdot 10^3 \frac{J}{kg K} \cdot (295 - 293)K = 2900,9 W$$

Aplicando un coeficiente de seguridad del 20%.

$$Q = 1839,2 W \cdot 1,2 = \mathbf{3481,1 W}$$

HRS050-A-20, HRS050-W-20 (Monofásico 200 a 230 VAC) [50 Hz]

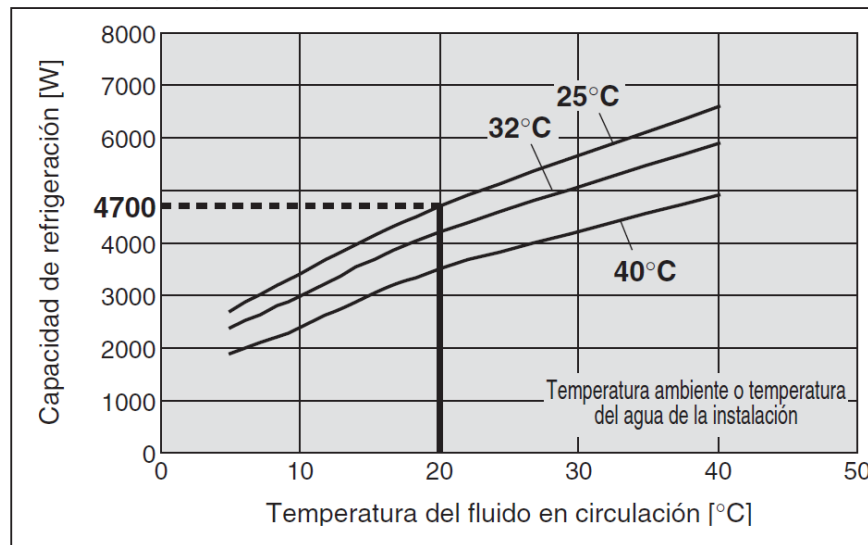


Gráfico 16.

Fuente: manual de SMC serie HRS.

Como la línea de producción objeto de este proyecto cuenta con 2 llenadora y por lo tanto dos bombas de vacío. El cálculo que hemos realizado para una bomba sirve para la otra y con el fin de juntar los flujos recirculantes de ambas bombas y hacerlos pasar por un único refrigerador, el dato limitante además de la capacidad de refrigeración, es el caudal máximo admisible que tendrá que ser superior a la suma de los caudales nominales de las bombas.

$$q_v = 1.25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 2 \text{ bombas} \cdot \frac{1000 \text{ dm}^3}{1 \text{ m}^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = \mathbf{41,6 \frac{l}{min}}$$

Necesitamos un termorrefrigerador con una capacidad de refrigeración igual o superior a los 3481,1 W y caudales máximos mayores que 41,6 l/min.

Tabla de termorrefrigeradores refrigerados por aire:

Modelo		HRS012-A□-20	HRS018-A□-20	HRS024-A□-20	HRS030-A□-20	HRS050-A□-20	HRS060-A□-20	
Método de refrigeración		Refrigeración por aire						
Refrigerante		R407C (HFC)				R410A (HFC)		
Método de control		Control PID						
Temperatura ambiente/Humedad ^{Nota 1)}		Temperatura: 5 a 40°C, Especificación para entorno con altas temperaturas (opción): 5 a 45°C, Humedad: 30 a 70%						
Sistema del fluido en circulación	Fluido en circulación ^{Nota 2)}	Agua corriente, solución acuosa de etilenglicol al 15% ^{Nota 4)}						
	Rango de temperatura de ajuste ^{Nota 1)} °C	5 a 40						
	Capacidad de refrigeración ^{Nota 3)} (50/60 Hz) W	1100/1300	1700/1900	2100/2400	2600/3200	4700/5100	4900/5900	
	Capacidad de calentamiento ^{Nota 3)} (50/60 Hz) W	530/650			600/640	1100/1400	1000/1300	
	Estabilidad de temperatura ^{Nota 5)} °C	±0.1						
	Bomba	Caudal nominal ^{Nota 6)} ^{Nota 7)} (50/60 Hz) L/min	7 (0.13 MPa)/7 (0.18 MPa)				23 (0.24 MPa)/28 (0.32 MPa)	23 (0.21 MPa)/28 (0.29 MPa)
		Caudal máximo (50/60 Hz) L/min	27/29			34/40	31/42	29/38
		Cabeza máxima de la bomba (50/60 Hz) m	14/19					50
		Salida W	200					550
	Capacidad del depósito L		Aprox. 5					
Tamaño de conexión		Rc1/2						
Material de contacto con el fluido		Acero inoxidable, cobre (soldadura fuerte del intercambiador de calor), bronce, cerámica de alúmina, carbono, PP, PE, POM, FKM, EPDM, PVC						
Sistema eléctrico	Alimentación	Monofásica 200 a 230 VAC (50/60 Hz) Rango de tensión admisible ±10%						
	Protector de circuito A	10				20	30	
	Capacidad del disyuntor para fugas a tierra aplicable ^{Nota 8)} A	10				20	30	
	Corriente nominal de trabajo A	4.6/5.1	4.7/5.2	5.1/5.9	5.2/6.0	8/11	8.9/11.5	
	Consumo nominal de potencia ^{Nota 3)} (50/60 Hz) kVA	0.9/1.0	0.9/1.0	1.0/1.2	1.0/1.2	1.7/2.2	1.8/2.3	
Nivel de ruido ^{Nota 9)} (50/60 Hz) dB		60/61			62/65	65/68	66/68	
Accesorios		1 conexión (para salida de purga) ^{Nota 11)} , 1 conector de señal de entrada/salida, 1 conector de alimentación ^{Nota 11)} , 1 manual de funcionamiento (para instalación/funcionamiento), 1 guía rápida (con una funda transparente) ^{Nota 11)} , 1 pegatina con lista de códigos de alarma, 1 núcleo de ferrita (para comunicación) El cable de alimentación debe pedirse como opción (se vende por separado) o ser preparado por el usuario.						
Peso ^{Nota 10)} kg		43			47	69	73	

Tabla 19.

Fuente: manual de SMC serie HRS.

El modelo que mas se asemeja a las características que requiere la instalación es el termorrefrigerador HRS050. Con 4700 W de capacidad de refrigeración. Con la instalación de este sistema la reducción estimada es tres veces menor que el consumo actual.



Imagen 55.

Fuente: manual de SMC serie HRS

12. IMPACTO ECONÓMICO.

12.1 Impacto economico sobre pasteurizador.

El ahorro que supone la realización de los estándares de revisión creados a base del análisis de la máquina y del tanque de condensados se puede cuantificar por dos vías distintas.

Por un lado, el gasto unitario por consumir un metro cúbico de agua. Calculado a base de los datos que proporciona el canal de Isabel II para consumos industriales. Para nuestro caso en particular usamos el precio marcado en el BLOQUE 3.

USOS INDUSTRIALES

Los puntos de corte de los bloques de consumo se determinarán según se indica en la siguiente tabla:

	Diámetro del contador (mm)	≤15	20	25	30	40	50	65	80	100	>100
BLOQUE 1	Hasta... m ³ /bimestre	90	150	200	350	400	550	800	800	900	900
BLOQUE 2	Del bloque 1 hasta... m ³ /bimestre	180	300	400	700	800	1.100	1.600	1.600	1.800	1.800
BLOQUE 3	Desde... m ³ /bimestre	180	300	400	700	800	1.100	1.600	1.600	1.800	1.800

Consumo	Invierno (resto del año)	Verano (1 junio/30 septiembre)
BLOQUE 1	0,4057 euros/m ³	0,4057 euros/m ³
BLOQUE 2	0,5486 euros/m ³	0,6855 euros/m ³
BLOQUE 3	0,9709 euros/m ³	1,4565 euros/m ³

Imagen 56.

Fuente: Tarifas 2015. Canal de Isabel II.

Cálculo del consumo mensual que supone el pasteurizador en condiciones ideales.
Con una media de 16 días de funcionamiento de la línea al mes.

$$2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{24\text{h}}{1\text{día}} \cdot \frac{16\text{ días}}{1\text{ mes}} \cdot \frac{1.4565\text{€}}{\text{m}^3} = \mathbf{1118,6\text{ €/mes}}$$

Cálculo del consumo mensual que supone el pasteurizador con un rebose excesivo.
Con una media de 16 días de funcionamiento de la línea al mes.

$$3,69 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{24\text{h}}{1\text{día}} \cdot \frac{16\text{ días}}{1\text{ mes}} \cdot \frac{1.4565\text{€}}{\text{m}^3} = \mathbf{2063,8\text{ €/mes}}$$

945,2 € más en la factura mensual por no realizar los estándares de revisión y el mantenimiento preventivo.

Por otro lado, el consumo en térmica debido al funcionamiento en las calderas. A través de la ecuación del calor utilizada en los cálculos del pasteurizador, el rendimiento de la línea y la potencia de las calderas. Podemos calcular el aumento de la factura debido al aumento del consumo de vapor de la máquina.

Qué caudal de calor se emplearía en calentar esa energía, esto es producción de vapor que nos ahorraremos de las calderas.

$$\dot{q}_h = \dot{Q}_{90^\circ\text{C} \rightarrow 180^\circ\text{C}} + \dot{Q}_{\text{vaporización}}$$

$$\dot{q}_h = \dot{m}_{\text{vapor}} C_{e,\text{agua}} \Delta T + \dot{m}_{\text{vapor}} L_v$$

Sustituyendo,

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{\dot{Q}_{\text{agua}}}{C_{e,\text{agua}} \Delta T + L_v}$$

Teniendo en cuenta el actual rendimiento medio de generación de vapor, 88,7%, el calor recuperado implica dejar de consumir en la caldera de vapor la siguiente cantidad de energía en forma de vapor:

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{Q}_{\text{agua}}}{0,887}$$

Por lo que, sabiendo que la producción por Tonelada de vapor está a 24 €/t.

Gasto por consumo de vapor en condiciones ideales de funcionamiento.

ENERGÍA TÉRMICA			
Presión	4bar	°C	
h	2133	KJ/kg	
caudal vapor	200	kg/h	
días	16	días/mes	
horas	24	h/día	
volumen producido	2.650.000	hl	
rendimiento línea	0,46		
kJ/año	consumo MJ/año	consumo MJ/hl	gasto
75354624	75.355	0,1	625 €

Tabla 20.

Fuente: propia.

Gasto por consumo de vapor en condiciones de rebose excesivo.

ENERGÍA TÉRMICA			
Presión	4bar	°C	
h	2133	KJ/kg	
caudal vapor	308	kg/h	
días	16	días/mes	
horas	24	h/día	
volumen producido	2.650.000	hl	
rendimiento línea	0,46		
kJ/año	consumo MJ/año	consumo MJ/hl	gasto
116046121	116.046	0,0	963 €

Tabla 21.

Fuente: propia.

338 €/ mes más en la factura del gas por no realizar los estándares de revisión y el mantenimiento preventivo en la máquina.

12.2 Impacto económico sobre proyecto de recuperación de agua de envasado

El proyecto de recuperación de agua de las máquinas de envasado es el gran proyecto de recuperación de aguas de la fábrica y por el cual se prevé una reducción del consumo de agua de la fábrica de 0,45 Hl/Hl fábrica. Es decir, 0,45 Hl de agua menos por cada Hl de cerveza producido en la fábrica. Concretamente la reducción en la línea 84 de botellas retornables está estimada en 0,10 Hl/Hl fábrica. Tomando los datos del mes de Junio para la realización de estos cálculos:

Ratio total de la fábrica	: 7,25 Hl/Hl.
Producción total en el mes de Junio	: 269818 Hl de cerveza.
Ratio total de envasado	: 1,67Hl/Hl.
Recuperación	: -0,1 Hl/Hl = 1,57Hl/Hl.

Consumo de agua:

$$1,67 \text{ Hl/Hl fábrica} \cdot 269818 \text{ Hl cerveza} = 450.596,06 \text{ Hl agua/mes}$$

Proyecto de Recuperación:

$$1,57 \text{ Hl/Hl fábrica} \cdot 269818 = 423614,23 \text{ Hl agua/mes}$$

26.981,8 Hl agua al mes ahorrados. El equivalente a **39.298 €/mes** menos en la factura mensual de agua.

12.3 Impacto económico sobre lavadora de botellas.

Debido a la sustitución del intercambiador del primer baño de sosa hemos conseguido aprovechar la energía térmica del intercambiador. Un ahorro energético de $\dot{q}_h = 73'5kW$, que en términos económicos:

ENERGÍA TÉRMICA			
Tf	140 °C		
To	90 °C		
Cp	4,18 KJ/(kgK)		
caudal	1,49 m3/h		
Rendimiento línea	46 %		
días	16 días/mes		
horas	24 h/día		
volumen producido	2600000 hl		
kg/año	MJ/año	Ahorro (MJ/Hl)	Consumo
263194	55007,4624	0,021	457 €

Tabla 22.

Fuente: propia.

457€/mes se han dejado de perder por cambiar el intercambiador de calor.

En cuanto al consumo de agua de la lavadora, gracias a la instalación del extractor que evita el sobrecalentamiento de los baños y la salida de vapores que paran la máquina provocando la apertura de la válvula de by-pass. El ahorro en consumo de agua es de:

Producción media mensual de cerveza L84.	: 20527 Hl
Ratio consumo de agua (anterior al análisis)	: 2.5 Hl/Hl Línea
Ratio consumo de agua (posterior al análisis)	: 1,5 Hl/Hl Línea

$$20527 \text{ Hl/mes} \cdot 2,5 \frac{\text{Hl}}{\text{Hl}} \text{ línea} = 51317,5 \text{ Hl agua/mes}$$

$$20527 \text{ Hl} \cdot 1,5 \frac{\text{Hl}}{\text{Hl}} \text{ línea} = 30790,5 \text{ Hl agua/mes}$$

$$51317,5 - 30790,5 = 20527 \text{ Hl agua} \cdot \frac{0,1 \text{ m}^3}{1 \text{ Hl}} = 2052,7 \text{ m}^3 \sim 2000 \text{ m}^3/\text{mes}$$

$$2000 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \cdot \frac{1.4565 \text{ €}}{\text{m}^3} = \mathbf{2913 \text{ €/mes}}$$

2913 € de ahorro en la factura mensual de agua.

12.4 Impacto económico sobre lavadora de cajas.

Durante los dos meses de estudio e implementación de mejoras, se consigue una reducción de ratio de 0,46 Hl/Hl línea. Es decir, se pasa de una media de 0,58 Hl/Hl a 0,12 Hl/Hl al final del estudio.

Este ahorro supone económicamente:

Cerveza producida : 20527 Hl/mes

Ratio de ahorro : 0,46 Hl/Hl línea

$$\frac{20527 \text{ Hl}}{\text{mes}} \cdot \frac{0,46 \text{ Hl}}{\text{Hl}} \text{ línea} = 9442,42 \text{ Hl agua/mes} = 944 \text{ m}^3/\text{mes}$$

$$944 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \cdot \frac{1.4565\text{€}}{\text{m}^3} = \mathbf{1374,93\text{€/mes}}$$

1374,93€/mes ahorrados en el consumo de agua de la lavadora de cajas.

12.5 Impacto económico sobre bomba de vacío.

Al igual que en los casos anteriores, cogeremos el ahorro estimado con la introducción del termorrefrigerador en la bomba de vacío. $1,25 \text{ m}^3/\text{h}$ de ahorro en el consumo de agua.

$$1,25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{24\text{h}}{1\text{día}} \cdot \frac{16\text{ días}}{1\text{ mes}} \cdot \frac{1.4565\text{€}}{\text{m}^3} \cdot 2 \text{ bombas} = \mathbf{1398,24 \text{ €/mes}}$$

1398,24 € menos en la factura mensual de agua gracias a la instalación del termorrefrigerador.

12.6 Datos finales de ahorro económico.

AHORRO (€/MES)	PASTEURIZADOR	LAVADORA DE BOTELLAS	LAVADORA DE CAJAS	BOMBAS DE VACÍO	TOTAL (€/MES)
AGUA	945,20	2913	1374,93	1398,24	6622,37
TÉRMICA	338	457	-	-	795

Tabla 23.

Fuente: propia.

En esta tabla-resumen de datos finales de ahorro económico no aparece reflejada la contribución de ahorro que conlleva el *proyecto de recuperación de aguas de envasado*. Esto se debe principalmente a que se trata de un proceso que se está llevando a la par que este proyecto y que, aún sin seguir la misma línea de actuación que el mismo, se menciona como proyecto paralelo con la reducción de consumos energéticos como factor en común.

Al haberme visto involucrado en este segundo proyecto, lo he considerado digno de mención como un ejemplo práctico más de la política de reducción de consumo, pero al no ser parte como tal del primer proyecto no se tendrán aquí en cuenta para las conclusiones del mismo.

13. CONCLUSIONES.

Partimos, pues, de la base del total desconocimiento sobre cómo abordar un tema tan crucial para cualquier empresa productora como la optimización de recursos energéticos, tema para el cual no sobran las ideas pero para el que la ejecución de las mismas llegan a suponer un gran problema.

El tener la posibilidad de estudiar y aprender una metodología como el TPM, la forma en que esta ayuda a la organización y la estructuración, sobre todo mental, de estos procedimientos, es oportunidad excelente para aprender cómo enfrentarse a estos problemas.

Concretando, el proyecto partió de unos consumos energéticos muy elevados, de los cuales, en algunos casos, se partió a ciegas pues no se contaba con los datos necesarios para empezar un estudio adecuado, lo que resulta una oportunidad inmejorable para el aprendizaje. Era éste, por tanto, un reto absoluto.

Para cumplir con el propósito de llevar a cabo un meticuloso y minucioso estudio de la cuestión, analizando todas las pérdidas, gastos, etc., que permitiesen llevar a cabo el proyecto propuesto, se optó por una política de actuación basada en la implantación de objetivos pequeños y consecutivos.

Los objetivos, cada uno de ellos, serían marcados conforme se fuese avanzando en el proyecto, resolviendo los problemas de uno en uno, hasta, finalmente, crear una cadena de resolución de problemas tal que, problema tras problema, limpiase el sistema de fallos, eliminando así cada pérdida energética.

Considero relevante también decir que, si bien el objetivo práctico de este proyecto es el reducir al máximo posible las pérdidas, nuestras actuaciones se ven en ocasiones sujetas a las normas y el marco general de actuación propios de una gran empresa, lo que conlleva unas restricciones en cuanto a presupuesto se refiere, métodos y decisiones que deben encuadrarse en los márgenes que las normas de la empresa estipulan.

Así mismo, resulta conveniente resaltar el hecho de que, a pesar del esfuerzo dirigido al cumplimiento del cronograma establecido, el ritmo de trabajo lo marcan la compañía en general y la fábrica en particular, y las intervenciones del proyecto quedan restringidas por éste. No obstante, esto posibilita un aprendizaje a la par que añade una presión ligera en mayor o menor grado, pues este no deja de ser un proyecto con fecha de vencimiento.

Será haciendo uso de las herramientas que nos proporciona la metodología TPM que llegaremos al cumplimiento de los objetivos marcados.

Muchas de estas herramientas, aunque son estudiadas a lo largo de la carrera, no es hasta ahora que realmente se entienden al usarlas en un caso práctico y resultan, en su mayoría, más complejas de lo que en un principio supones.

Además, herramientas como SIMEC, propias o internas de la compañía y la fábrica, solucionan muchas de las dificultades que se van presentando a lo largo de todo el proceso.

A parte de lo puramente laboral, han de añadirse todos los conocimientos previo que la carrera de aporta, como por ejemplo el cálculo en los intercambiadores de calor, para lo cual los libros *Fundamentos de la Transferencia de Calor* y *Fundamentos de Termodinámica Técnica* me han servido de base para realizar la parte más puramente teórica del proyecto.

Gracias a todo esto se ha conseguido la optimización energética anhelada. Se ha conseguido profundizar en el funcionamiento de las principales máquinas consumidoras de agua y energía térmica de la línea de producción. Se ha conseguido aprender y llevar a la práctica una metodología utilizada en la mayoría de la industria.

Como valoración final resumiremos que en su momento partimos de una situación inicial algo complicada en cuanto al acceso y recopilación de datos pero que estos han conseguido optimizarse exitosamente, lo que es motivo de orgullo.

Es cierto que existen factores a mejorar, medidas que no se han llegado a completar para este proyecto pero que se terminarán para culminar la optimización energética de la línea. Se podía haber continuado la implementación de mejoras tales como que la lavadora de cajas funcionase con agua reutilizada de los reboses del pasteurizador o del enjuague de la lavadora; la instalación de algún contador de vapor para monitorizar el consumo térmico en dicha lavadora, ya que en este punto nos hemos debido limitar a la resolución de los problemas en cuanto a energía térmica se refiere, pero no se ha podido cuantificar esa mejora.

En vistas al futuro, deberán mantenerse los seguimientos de todos los indicadores a fin de atajar cualquier desviación que surja, por pequeña que sea, de manera rápida y eficaz; realizar los estándares de prevención de averías; mantenimiento preventivo; correcto posicionamiento de válvulas, etc.

Todas estas medidas, por insignificantes que puedan parecer, pueden ahorrar gran parte de los recursos económicos y de mantenimiento empleado.

14. BIBLIOGRAFÍA.

- Bibliografía:

1. MORAN, M, J. SHAPIRO, H, N. *Fundamentos de Termodinámica Técnica*, ed. Reverte, págs. 2-35,333-408, Barcelona, 2005.
2. INCROPERA, F, P. DE WITT, D, P. *Fundamentos de Transferencia de Calor*, ed. Pearson, págs. 581-619, México, 1999.

- Manuales:

1. Sidel. Documentación técnicas uso y mantenimiento CLD 60/192 – SPAL.0094, Heineken Españas S.A. Verona, 2007.
2. KHS. *Instrucciones de servicio de la lavadora de Botellas OMEGA Lavana DS/DR*, Heineken España S.A. Dortmund, 1991.
3. Bohrer Maschinenbau. *Manual de instrucciones y lista de repuestos para la instalación lavadora de cajas*, Heineken España S.A.
4. SIHI. *Instrucciones de servicio bombas de vacío de anillo líquido LPH. 55312,55316 y 55320*. Heineken España S.A.

- Recursos on-line:

1. gdnash.com, consulta. 13. Agosto. 2015.
2. sterlingsihi.com, consulta. 14. Agosto. 2015.
3. canalgestion.es, consulta. 20. Agosto. 2015.
4. economia-excel.com, consulta. 1. Septiembre. 2015.

15. ÍNDICE DE IMÁGENES.

Imagen 1: mapa de fábricas en la Península Ibérica.

Imagen 2: Fábrica de Heineken de San Sebastián de los Reyes (Madrid).

Imagen 3: pilares TPM.

Imagen 4: ejemplo Diagrama de Pareto.

Imagen 4: ejemplo diagrama Causa-Efecto.

Imagen 5: análisis 5 por qué.

Imagen 6: introducir etiquetas en Simec.

Imagen 7: pasteurizador de tipo túnel.

Imagen 8: proceso temperaturas para cervezas con alcohol.

Imagen 9: proceso temperaturas para cervezas sin alcohol.

Imagen 10: diagrama de flujo del pasteurizador.

Imagen 11: sistema de vapor en el pasteurizador 1.

Imagen 12: sistema de vapor en el pasteurizador 2.

Imagen 13: sistema hidráulico de vapor.

Imagen 14: datos alimentación pasteurizador.

Imagen 15: colocación de barras inyectoras.

Imagen 16: comprobaciones tanque de condensados.

Imagen 17: esquema reutilización agua de envasado.

Imagen 18: baños lavadora de botellas.

Imagen 19: mecanismo de entrada.

Imagen 20: preenjuague.

Imagen 21: Funcionamiento de baños.

Imagen 22: Funcionamiento baños sumergidos.

Imagen 23: sistema de inyección.

Imagen 24: sistema de descarga de la lavadora.

Imagen 25: Intercambiador tubo y carcasa.

Imagen 26: coeficiente global de transferencia de calor.

Imagen 27: distribución de temperaturas en un intercambiador de doble tubo en flujo paralelo.

Imagen 28: distribución de temperaturas en un intercambiador de doble tubo en contraflujo.

Imagen 29: factor de corrección para un intercambiador de carcasa y tubo con un paso de carcasa y dos, cuatro, o cualquier múltiplo de dos pasos de tubo.

Imagen 30: factor de corrección para un intercambiador de carcasa y tubo con dos pasos de carcasa y cuatro, ocho, o cualquier múltiplo de cuatro, pasos de tubo.

Imagen 31: factor de corrección para un intercambiador de un solo paso y flujo transversal, con ambos fluidos sin mezclar.

Imagen 32: factor de corrección para un intercambiador de un solo paso y flujo transversal, con un fluido mezclado y el otro sin mezclar.

Imagen 33: OPL mejora en la extracción de vapores a la salida de la máquina.

Imagen 34: SOP comprobación de fugas en los intercambiadores de calor.

Imagen 35: SOP comprobación colector de enjuague.

Imagen 36: funcionamiento interno de lavadora de cajas.

Imagen 37: componentes lavadora de cajas.

Imagen 38: esquema de flujo.

Imagen 39: programa lavadora de cajas.

Imagen 40: programa modificado lavadora de cajas.

Imagen 41: funcionamiento bomba de vacío 1.

Imagen 42: funcionamiento bomba de vacío 2.

Imagen 43: funcionamiento bomba de vacío 3.

Imagen 44: funcionamiento bomba de vacío 4.

Imagen 45: proceso bomba de vacío.

Imagen 46: proceso bomba de vacío con recirculación.

Imagen 47: proceso bomba de vacío con refrigerado 1.

Imagen 48: proceso bomba de vacío con refrigerador 2.

Imagen 49: datos funcionamiento de las bombas de vacío 2.

Imagen 50: Esquema de flujo.

Imagen 51: ejemplos de aplicación de bombas de vacío.

Imagen 52: termorrefrigerador HRS050.

16. ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.

- Fotografía 1: válvula reguladora de vapor.*
- Fotografía 2: sistema de vapor del pasteurizador.*
- Fotografía 3: junta válvula reguladora entrada de agua.*
- Fotografía 4: asiento válvula reguladora entrada de agua.*
- Fotografía 5: interior pasteurizador.*
- Fotografía 6: rebose de pasteurizador 1.*
- Fotografía 7: rebose de pasteurizador 2.*
- Fotografía 8: pantalla control pasteurizador.*
- Fotografía 9: bomba y filtro de agua.*
- Fotografía 10: motor cribas de filtros.*
- Fotografía 11: fugas pasteurizador.*
- Fotografía 12: inyectores obstruidos.*
- Fotografía 13: depósito recogida de agua pasteurizador.*
- Fotografía 14: instalación recogida de agua pasteurizador.*
- Fotografía 15: red de tuberías último enjuague.*
- Fotografía 16: Barrera de seguridad y fotocélula de salida.*
- Fotografía 17: válvula reductora de presión.*
- Fotografía 18: barras inyectoras.*
- Fotografía 19: inyectores y paso de cajas.*
- Fotografía 20: entrada de agua a enjuague.*
- Fotografía 21: contador en tubería de agua a enjuague.*
- Fotografía 22: contador de agua.*
- Fotografía 23: intercambiador de calor de la lavadora de cajas.*
- Fotografía 24: fuga en tubo de intercambiador.*
- Fotografía 25: bomba de vacío.*
- Fotografía 26: bomba de vacío sin contador.*
- Fotografía 27: bomba de vacío con contador.*

Fotografía 28: by-pass y electroválvula de entrada de agua.

Fotografía 29: electroválvula de bomba de vacío.

17. ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico 1: diagrama de Pareto de las Máquinas de la fábrica.

Gráfico 2: diagrama de Pareto de los consumos de agua por departamento.

Gráfico 3: diagrama de Pareto de los consumos de las máquinas del dep. Envasado.

Gráfico 17: diagrama de Pareto consumo mensual de agua del pasteurizador.

Gráfico 18: diagrama de Pareto consumos de máquinas línea 84.

Gráfico 6: unidades de pasteurización vs tiempo.

Gráfico 7: proceso del vapor en un diagrama P-h para agua.

Gráfico 8: diagrama de Pareto. Consumo mensual pasteurizador.

Gráfico 9: diagrama de Pareto. Consumo mayo-junio pasteurizador.

Gráfico 10: diagrama de Pareto consumo por departamentos.

Gráfico 11: diagrama de Pareto dep. Envasado.

Gráfico 12: diagrama de Pareto máquinas clúster retornable.

Gráfico 13: resultado final del análisis.

Gráfico 14: diagrama de Pareto consumo máquinas línea 84.

Gráfico 15: diagrama de Pareto consumo junio – septiembre. Lavadora de cajas.

Gráfico 16: capacidad de refrigeración.

.

18. ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: 16 pérdidas del TPM.

Tabla 2: constantes termodinámicas vapor de agua.

Tabla 3: listado de etiquetas área del pasteurizador.

Tabla 4: análisis 5 por qué. Rebose excesivo de baños.

Tabla 5: análisis 5 Porqués. Rebose de condensados en el tanque

Tabla 6: consumos envasado. Clúster Retornable.

Tabla 7: Orden mantenimiento preventivo

Tabla 8: listado de etiquetas área de lavadora de botellas.

Tabla 9: condiciones de baños de sosa.

Tabla 10: valores representativos de U.

Tabla 11: valores representativos del factor de ensuciamiento.

Tabla 12: análisis 5 por qué. Válvula de by-pass abierto

Tabla 13: análisis 5 por qué. Exceso de consumo de agua.

Tabla 14: estándar de revisión de válvulas.

Tabla 15: ordenes de mantenimiento preventivo 1.

Tabla 16: ordenes de mantenimiento preventivo 2.

Tabla 17: diagrama de Pareto consumo máquinas clúster retornable.

Tabla 18: análisis 5 por qué. Inyectores continuamente funcionando.

Tabla 19: datos de funcionamiento de las bombas de vacío 1.

Tabla 20: modelos termorrefrigeradores.

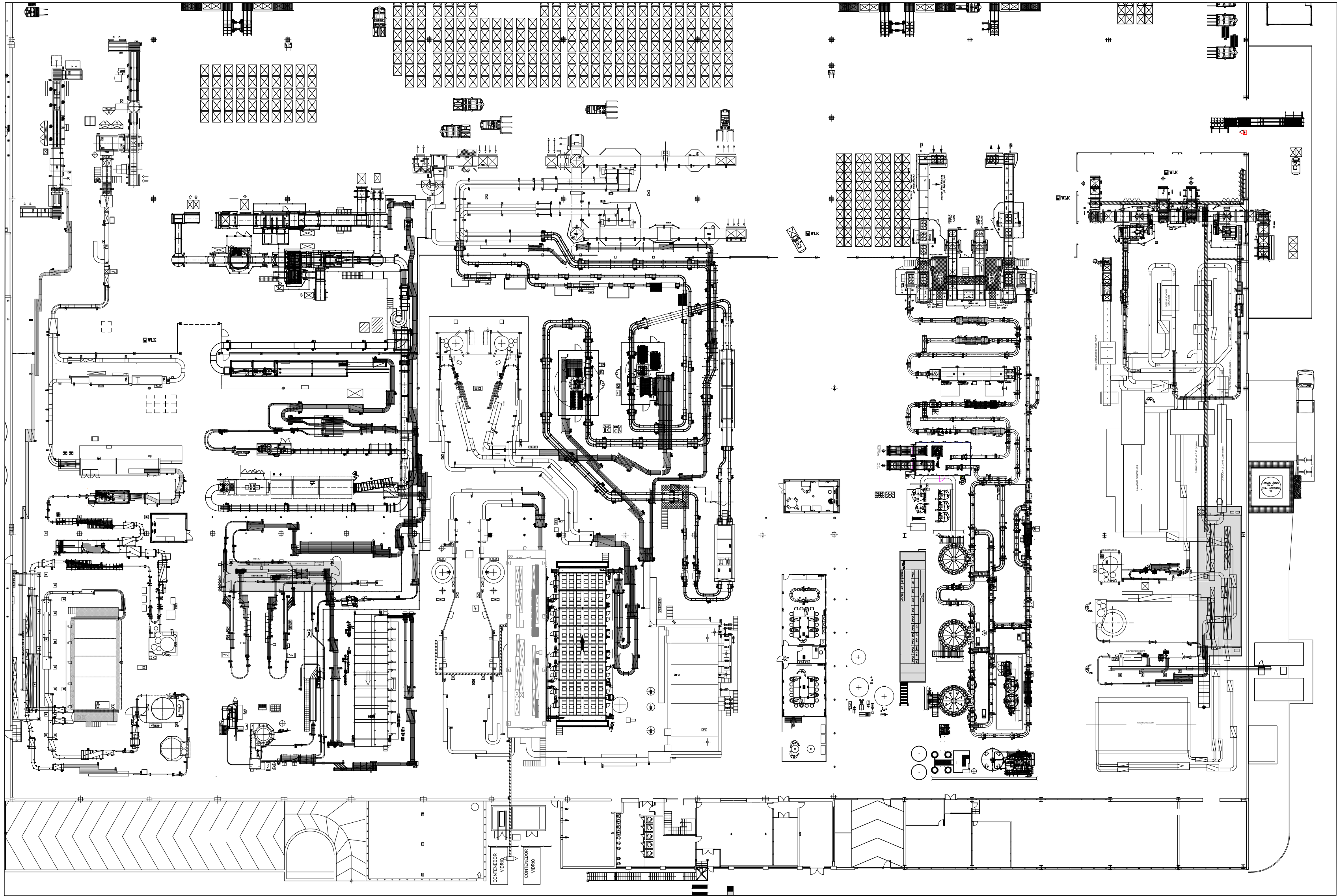
Tabla 21: ahorro térmico 1.

Tabla 22: ahorro térmico 2.

Tabla 23: ahorro térmico 3.

Tabla 24: datos finales de ahorro económico.

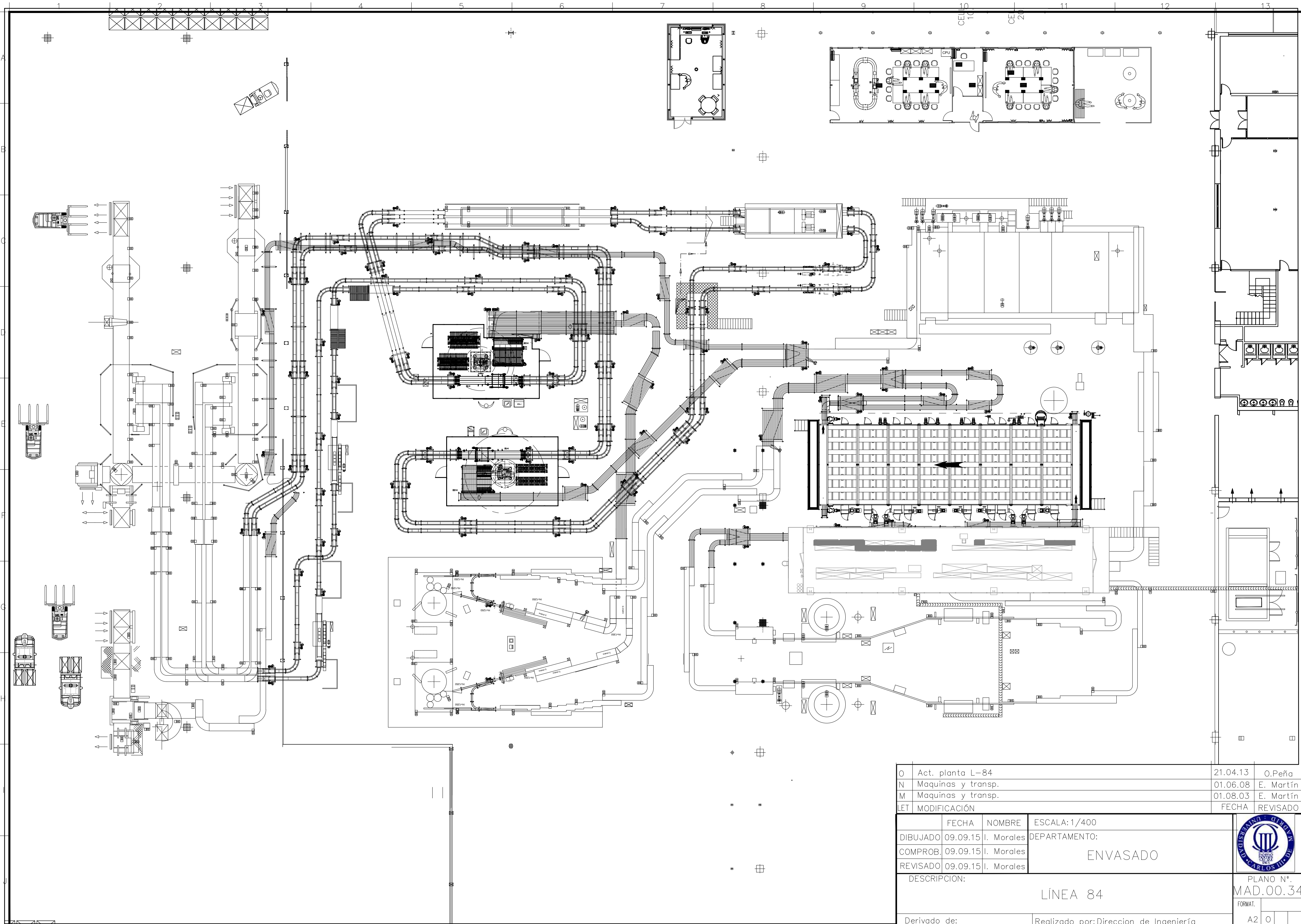
19. PLANOS.



Planta General Envasado
Escala 1/400

C	Modificación L-88	03.03.14	T. Madueño
B	Modificación L-81	11.02.14	T. Madueño
A	Planta general Envasado	23.03.09	T. Madueño
LET	MODIFICACIÓN	FECHA	REVISADO
	FECHA	NOMBRE	ESCALA: 1/400
DIBUJADO	09.09.15	I. Morales	DEPARTAMENTO:
COMPROB	09.09.15	I. Morales	ENVASADO
REVISADO	09.09.15	I. Morales	
DESCRIPCION:			PLANO N.º 1141522
Derivado de:			Realizado por: Direccion de Ingeniería
			A2 C





O	Act. planta L-84	21.04.13	O.Peña
N	Maquinas y transp.	01.06.08	E. Martín
M	Maquinas y transp.	01.08.03	E. Martín
LET	MODIFICACIÓN	FECHA	REVISADO
	FECHA	NOMBRE	ESCALA: 1/400
DIBUJADO	09.09.15	I. Morales	DEPARTAMENTO:
COMPROB.	09.09.15	I. Morales	ENVASADO
REVISADO	09.09.15	I. Morales	
DESCRIPCION:			PLANO N° MAD.00.34
Derivado de:			Realizado por: Direccion de Ingeniería
			FORMAT. A2 0